



# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD  
(RCM) Y LOS EFECTOS EN LA DISPONIBILIDAD DE LAS  
EXTRUSORAS HIDRÁULICAS, EN LA EMPRESA  
ITALSOLDER S.A.C.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

**Ingeniero Industrial**

**Autor:**

Bach, Cubillas Pérez Juan José

**Asesor:**

Dr. Ing. Durand Porras Juan Carlos

Lima – Perú

2020

## **DEDICATORIA**

La tesis está dedicada a Dios, por darme la fe y esperanza de poder culminar una de las etapas de mi vida profesional.

A mis padres, quienes dejaron todo de lado para inculcarme buenos hábitos y enseñarme el camino del éxito. El esfuerzo de ellos fue la motivación de seguir avanzando y terminar mis objetivos.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a la universidad privada del norte por permitirme terminar una carrera de ingeniería, por sus horarios flexibles para personas que hacen el esfuerzo de trabajar y estudiar.

A todos los que contribuyeron para realizar esta investigación, especialmente a mi asesor, quien fue una de las personas que me motivo a seguir con mi trabajo de investigación a pesar de las barreras que se presentaban al inicio de mi tesis, muchas gracias Doctor Juan Carlos Durand Porras.

## Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	60
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	99
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	113
CONCLUSIONES.....	114
RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS.....	117
ANEXOS.....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Procedimientos para la investigación – Resumen.....	57
Tabla 2 Equipo profesional que realizó la implementación del RCM. ....	60
Tabla 3 Equipo profesional que realizó la implementación del RCM. ....	61
Tabla 4 Resumen de reporte de fallas de los años 2016, 2017 y 2018 en la extrusora LP250 – 1I. ....	62
Tabla 5 Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 1I .....	63
Tabla 6 Resumen de reporte de fallas de los años 2016, 2017 y 2018 en la extrusora LP250 – 2I. ....	65
Tabla 7 Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 2I .....	66
Tabla 8 Frecuencia de fallas en la extrusora hidráulica LP250 – 1I.....	68
Tabla 9 Frecuencia de fallas en la extrusora hidráulica LP250 – 2I. ....	69
Tabla 10 Criticidad de los activos físicos de la empresa Italsolder S.A.C.....	70
Tabla 11 Costo de intervención de mantenimiento.....	71
Tabla 12 Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -1I.....	72
Tabla 13 Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -1I.....	72
Tabla 14 Costo de intervención de mantenimiento.....	73
Tabla 15 Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I.....	73
Tabla 16 Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I.....	74
Tabla 17 Codificación de los equipos de planta de la empresa Italsolder S.A.C.....	79
Tabla 18 Codificación de sistemas y subsistemas de las extrusoras hidráulicas. ....	79
Tabla 19 Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas .....	80
Tabla 20 Listado de fallas funciones de los sub-sistemas.....	81
Tabla 21 Listado de modos de falla de los sub-sistemas .....	82
Tabla 22 Hoja de decisión RCM – Bombeo y pilotaje. ....	92
Tabla 23 Hoja de decisión RCM – Enfriamiento del aceite hidráulico. ....	93
Tabla 24 Hoja de decisión RCM – Calefacción.....	94
Tabla 25 Hoja de decisión RCM – Tablero de Control. ....	95
Tabla 26 Reporte de fallas y mantenimiento del año 2019 en la extrusora LP250 – 1I.....	99

Tabla 27 Reporte del MTTR anual de la extrusora hidráulica LP250 – 1I.....	100
Tabla 28 Reporte del total del tiempo de reparación del año 2019 en la extrusora LP250 – 2I. ....	101
Tabla 29 Reporte del MTTR anual de la extrusora hidráulica LP250 – 1I.....	101
Tabla 30 Reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 1I. ....	103
Tabla 31 Reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 2I. ....	104
Tabla 32 Costo de intervención de mantenimiento.....	105
Tabla 33 Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -1I.....	106
Tabla 34 Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -1I.....	106
Tabla 35 Costo de intervención de mantenimiento.....	107
Tabla 36 Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I.....	107
Tabla 37 Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I.....	108
Tabla 38 Resumen de reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 1I. ....	109
Tabla 39 Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 1I .....	110
Tabla 40 Resumen de reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 2I. ....	111
Tabla 41 Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 2I .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa.....	17
Figura 2. Nuevas expectativas del mantenimiento .....	26
Figura 3. Evolución de las fallas de los activos físicos .....	27
Figura 4. Transformación de las fallas de mantenimiento de un activo físico .....	28
Figura 5. Modo de falla de una bomba.....	29
Figura 6. Capacidad ideal vs funcionamiento solicitado.....	30
Figura 7. Situación de deterioro .....	31
Figura 8. Describiendo funciones.....	32
Figura 9. Diferentes puntos de vista de las fallas .....	33
Figura 10. Describiendo fallas funcionales .....	33
Figura 11. Modo de falla, categoría 1.....	35
Figura 12. Modo de falla, categoría 2.....	36
Figura 13. Modo de falla, categoría 3.....	36
Figura 14. Activo fuera de servicio vs. Tiempo de solución.....	37
Figura 15. Equipos naturales de trabajo .....	39
Figura 16. Proceso del RCM .....	40
Figura 17. Formato de decisión RCM .....	43
Figura 18. Evaluación de la Criticidad .....	49
Figura 19. Matriz de Criticidad .....	50
Figura 20. Ponderación del NPR.....	51

Figura 21. Escala de severidad, ocurrencia y probabilidad de detección. ....	51
Figura 22. Los seis tipos de falla .....	53
Figura 23. Secuencia tradicional de las fallas .....	53
Figura 24. Diagrama de Pareto extrusora hidráulica LP250 – 1I. ....	68
Figura 25. Diagrama de Pareto extrusora hidráulica LP250 – 2I. ....	69
Figura 26. AMEF del sistema de bombeo y pilotaje .....	85
Figura 27. AMEF del sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico .....	87
Figura 28. AMEF del sistema de Calefacción.....	89
Figura 29. AMEF del Control eléctrico.....	91
Figura 30. Plan de mantenimiento preventivo.....	97
Figura 31. Datos iniciales versus resultados finales del MTTR de las extrusoras .....	102
Figura 32. Datos iniciales versus resultados finales del N° de fallas de las extrusoras	104
Figura 33. Datos iniciales versus resultados finales de los costos de las extrusoras....	108
Figura 34. Datos iniciales versus resultados finales de la disponibilidad de las EH....	112

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: DISPONIBILIDAD =  $D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$  .....46

Ecuación 2: MTBF =  $\frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Número de fallas}}$  .....47

Ecuación 3: MTTR =  $\frac{\textit{Tiempo de reparación}}{\textit{Número de fallas}}$  .....47

## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo general, determinar cómo la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) mejora la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder S.A.C

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), es una metodología que nos permite aumentar la disponibilidad de un activo, mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos y también analizar todas las posibilidades de fallo de los sistemas y subsistemas.

Las extrusoras hidráulicas de la empresa Italsolder S.A.C, no contaban con un plan de mantenimiento, es por ello que se implementó la metodología RCM en estos equipos, con ayuda de los reportes de mantenimiento, manual de la extrusora hidráulica e información disponible del personal de mantenimiento de la empresa.

Las conclusiones de la investigación en la extrusora LP250 – 1I, la disponibilidad tuvo un incremento de 10.4%. En la extrusora LP250 – 2I la disponibilidad tuvo un incremento de 8.5%. Los tiempos de reparación para la extrusora LP250 – 1I, se redujeron en un 27.5%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 23.3%. El número de fallas para la extrusora LP250 – 1I, se redujeron en un 82.4%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 73.3%. Los costos de mantenimiento en la extrusora LP250 – 1I, se redujeron en un 82%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 71.2%.

**Palabra Clave:** Mantenimiento centrado en la confiabilidad, tiempo de reparación, número de fallas, costos de mantenimiento, disponibilidad.

## ABSTRACT

The general objective of the research is to determine how the implementation of the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology improves the availability of hydraulic extruders in the company Italsolder S.A.C

Reliability-Centered Maintenance (RCM) is a methodology that allows us to increase the availability of an asset, improve the understanding of equipment operation and also analyze all the possibilities of failure of systems and subsystems.

The hydraulic extruders of the Italsolder SAC company did not have a maintenance plan, which is why the RCM methodology was implemented in these equipments, with the help of the maintenance reports, the manual of the hydraulic extruder and information available from the maintenance personnel of the company.

The conclusions of the investigation in the LP250 - 1I extruder, the availability had an increase of 10.4%. In the LP250 - 2I extruder, availability had an increase of 8.5%. Repair times for the LP250-1I extruder were reduced by 27.5%. In the LP250-2I extruder, it was reduced by 23.3%. The number of failures for the LP250-1I extruder was reduced by 82.4%. In the LP250-2I extruder, it was reduced by 73.3%. Maintenance costs on the LP250-1I extruder were reduced by 82%. In the LP250-2I extruder, it was reduced by 71.2%.

Key Word: Maintenance focused on reliability, repair time, number of failures, maintenance costs, availability.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

#### 1.1.1. Delimitación de la investigación – Descripción de la empresa

Para poder desarrollar este estudio se encontró las siguientes dificultades:

- Falta de historial del mantenimiento del extrusoras hidráulicas.
- Información reservada de servicios de terceros.
- Desconocimiento sobre la metodología RCM.

Actualmente diversas empresas manufactureras están buscando aumentar su rentabilidad y han identificado a la gestión de mantenimiento como una herramienta por la cual hacer incrementar la confiabilidad, la factibilidad y como consecuencia aumentar sus utilidades.

Desde 1999, la empresa Italsolder se presenta como especialistas en fabricación de soldadura y aleaciones especiales no ferrosas para la reparación y mantenimiento de equipos e instalaciones industriales, refrigeración, electromecánica y electrónica con materias primas de máxima pureza y de acuerdo a los estándares vigentes.

Italsolder manufactura soldaduras especiales de plata, cobre, bronce, aluminio, estaño, estaño-plata, fundentes y aleaciones antifricción para metalizado por sistema Arc Spray y de relleno.

Para aplicaciones industriales la empresa ofrece una vasta línea de soldaduras fuertes en varillas, alambres, laminas legamax y diversas soldaduras en polvo para aplicaciones especiales y además cuenta con 20 años en fabricación de soldaduras blandas Legatin de bajo punto de fusión.

### **1.1.2. Realidad problemática a nivel internacional y nacional**

A nivel internacional, la problemática referente a la disponibilidad de equipos en Estados Unidos, nos indica que las máquinas fuera de funcionamiento en algunos procesos de producción implicaba costos elevados, lo que conlleva a evitarlos, para lograr importantes ahorros de dinero, se calcula que entre un 50% y 60% de las industrias del mundo tienen implementada una o varias metodologías como herramienta para combatir estos problemas de disponibilidad. EEUU, cerca del 77% tienen un programa de mantenimiento establecido en funcionamiento. Lo que sí se afirma, es que en las últimas décadas la industria ha producido una gran información proveniente del software de mantenimiento, en muchas de las situaciones se establece este software para optimizar las industrias. (Bureau Veritas, 2017)

La problemática respecto a los costos de mantenimiento en Brasil, En tiempos de crisis se solicita tener estrategias para reducir los costos de operación y seguir siendo competitivos en el mercado frente a los competidores. El área de mantenimiento comúnmente es una de las más afectadas por cortes financieros. Por medio de la implementación de metodologías como el RCM; la mejora en calidad y seguridad se manifiestan en la industria de manera positiva, aquellos cambios son bienvenidos y pueden pasar a ser permanentes en la empresa. Esto quiere decir que, una vez que sea reducido el costo de mantenimiento de manera inteligente se logrará el éxito de cualquier plan de mantenimiento. Lo que trae un crecimiento saludable para la compañía en mantenimiento industrial. (IMG, 2019)

La problemática referente a disponibilidad de los equipos en España es, evitar que la actividad de la empresa pare porque un activo se ha averiado, con el problema consecuente en lo productivo y económico, conseguir un funcionamiento a pleno rendimiento de una máquina suele resultar engorroso. Si no se efectúan tareas de mantenimiento bajo una metodología, una máquina o componente puede funcionar a una capacidad menor a la que fue diseñada. Otras de las mejoras de un buen programa mantenimiento después de la disponibilidad, es evitar problemas como la seguridad ocupacional y medio ambiente frente a políticas de mantenimiento legal. (Qualitymant, 2019)

*A nivel nacional*, la problemática referente a los costos de mantenimiento, en Pasco, Nos muestra que muchas empresas a nivel nacional no toman los costos de mantenimiento como una oportunidad, sino como un problema que intentan evitarlo, siendo esta una actitud errónea. Tenemos de ejemplo, la industria de la producción de productos avanzados, las paradas de los activos por tareas de mantenimiento representan entre el 9% y 14% del tiempo promedio que debe funcionar la máquina. Todo esto cambia al emplear un correcto mantenimiento bajo una metodología, lo cual reduce entre el 3% y 6%, generando una mayor productividad para mineras como la de Cerro de Pasco. (Cámara de Minera del Perú, 2019).

La problemática referente a la disponibilidad de activos en Arequipa. En el año 2018 las empresas mineras apostaron por el mantenimiento de talla mundial, en busca de la mejor productividad de sus procesos, la optimización con la ayuda de metodologías buscan desarrollar el 100% de sus funciones evitando fallos o paradas imprevistas de máquinas. El término disponibilidad está ligado a aspectos sumamente importantes como: el talento humano, la optimización de procesos y estrategias de mantenimiento, el problema de esta actividad carece cuando los equipos empiezan a desgastarse siendo perjudicial a los intereses de la compañía. (RPP, 2018)

### **1.1.3. Realidad problemática a nivel local (institucional)**

A nivel Local (*Institucional*), la problemática respecto a la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder S.A.C. era que no contaban con un mantenimiento preventivo, lo que causaba que el equipo tuviera un bajo porcentaje de disponibilidad, siendo este el principal problema del activo en cumplir con sus funciones frente a la producción de soldadura de calidad. Es por ello que se implementa el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para aumentar la disponibilidad.

En base a la figura 1, Diagrama de Ishikawa, Podemos afirmar que la problemática referente a los indicadores de mantenimiento como el número de fallas, los tiempos de reparación y los costos de mantenimiento eran producto de una mala planificación de mantenimiento, lo cual genera una producción de baja calidad y con retrasos en las entregas de los pedidos. Hoy en día las empresas manufactureras tienen que ir de la mano con la optimización de sus operaciones, para poder combatir esta serie de inconvenientes.



Se busca soluciones como, mejorar los tiempos de reparación y eliminar las fallas más críticas para reducir los costos de mantenimiento.

La administración del mantenimiento en base a una planificación basada en una metodología traerá resultados altos en productividad de la empresa. Los clientes claves que dan fortaleza para la empresa, son la motivación de seguir brindando productos de calidad en soldadura, para lo cual se necesita tener activos con un porcentaje de disponibilidad y confiabilidad altas.

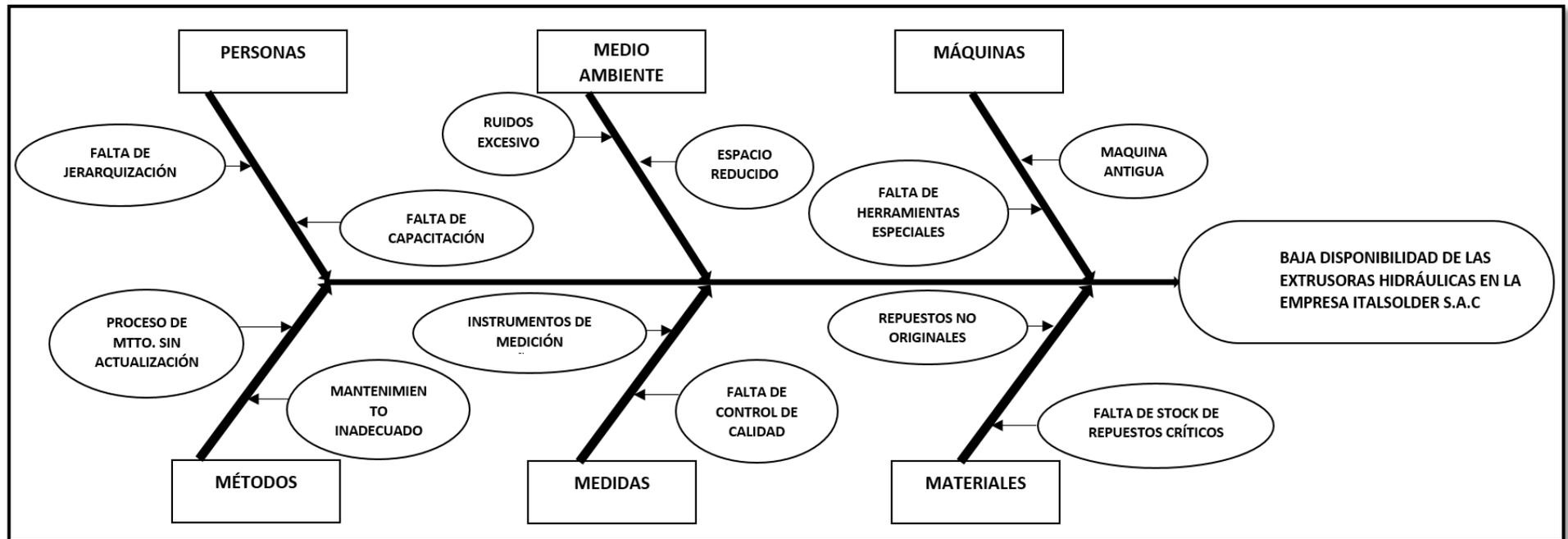


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

## 1.2. Formulación del problema

### Problema General

¿Cómo mejora la metodología RCM la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?

### Problemas Específicos

¿En qué medida mejora la implementación de la metodología RCM a los tiempos de reparación de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?

¿En qué medida mejora la implementación de la metodología RCM a la reducción del número de fallas de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?

¿En qué medida mejora la implementación de la metodología RCM a los costos de mantenimiento de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?

## 1.3. Objetivos de la investigación

### Objetivo General

Determinar cómo la Implementación de la metodología RCM, mejora la disponibilidad extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

### Objetivos Específicos

Determinar como la Implementación de la metodología RCM, mejora los tiempos de reparación de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

Determinar en qué medida mejora la Implementación de la metodología RCM en la reducción del número de fallas de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

Determinar en qué medida mejora la Implementación de la metodología RCM a los costos de mantenimiento de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

## **1.4. Justificación de la investigación**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

La investigación es importante, porque da cumplimiento a la teoría del Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), contribuyendo constantemente con el aumento de la disponibilidad de los activos industriales. Esto nos permitió perfeccionar los tiempos de reparación de las maquinas hidráulicas en el proceso de extrusión de soldadura, esta mejora se logró gracias a la utilización de estrategias de mantenimiento basadas en las nuevas tecnologías.

### **1.4.2. Justificación Práctica**

La investigación es importante, ya que contribuye al aumento de la disponibilidad de los activos a través del uso de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la producción de soldadura. El control de las extrusoras hidráulicas, permite reducir el número de fallas y efectuar un mantenimiento preventivo coordinado a los equipos de planta.

### **1.4.3. Justificación Cuantitativa**

Esta investigación es importante porque permite medir la efectividad de los equipos. En la extrusora LP250 – 1I, la disponibilidad tuvo un incremento de 10.4%. En la extrusora LP250 – 2I la disponibilidad tuvo un incremento de 8.5%. Los tiempos de reparación para la extrusora LP250 – 1I, se redujeron en un 27.5%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 23.3%. El número de fallas para la extrusora LP250 – 1I, se redujeron en un 82.4%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 73.3%. Los costos de mantenimiento en la extrusora LP250 – 1I, se redujeron en un 82%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 71.2%.

### **1.4.4. Justificación Normativa**

La investigación es importante, ya que cumple con las siguientes normativas.

- 1) Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural, ISO 14224,2016.
- 2) Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie, SAE-JA1011.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Zavala (2017), presento en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador, para obtener el grado de Maestro en Gestión de Mantenimiento con mención en didáctica universitaria; la tesis titulada “Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el Grupo Electrógeno FG-WILSON P-300 de las Granjas Avícolas de la Empresa Procesadora Nacional de Alimentos Zona Bucay”; el objetivo general de la investigación fue implementar los criterios de RCM en el grupo electrógeno FG-WILSON P300, la investigación aplicó el diseño de investigación: Descriptivo, Evaluativo, Campo y Aplicada; en sus conclusiones manifestó: a) A través del RCM redujo los costos de mantenimiento en un 32% y además redujo en un 94 % las maquinas paradas; b) Con respecto a las fallas en el año 2014 obtuvo un 0,0233 fallos /hora. Luego de implementar el RCM en el 2015, las fallas fueron de 0,015 fallos/hora, dando una reducción de las fallas de un 36% con respecto al año 2014.

Mendoza (2016), presento en la Universidad Mayor De San Andrés - Bolivia, para obtener el grado de Maestro en Gestión de Mantenimiento con mención en didáctica universitaria; la tesis titulada “Sistema De Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Motores Eléctricos de Inducción”; el objetivo general de la investigación fue optimizar el sistema de mantenimiento de motores de inducción mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, la investigación no experimental la cual se estructuro en base a las siete preguntas del RCM; en sus conclusiones manifestó: a) el RCM implementado para motores eléctricos en la industria Breick reduce los tiempos de fuera de servicio e incremento la disponibilidad de sus activos de 93% a 95%. Mejorando la confiabilidad de 61.13% a 67.40%; b) Una vez realizado el análisis e implementado el RCM se reduce el número de fallas de 38 en 255 días a 30 en 263 días más que en el primer caso.

Guevara (2016), presento en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador, para obtener el grado de Maestro en Gestión de Mantenimiento con mención en didáctica universitaria; la tesis titulada “Aplicación Del Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad a Los Grupos Electrónicos De La Estación Tapir a Del Bloque 17 Petrooriental”; el objetivo general de la investigación fue Mejorar la disponibilidad de los grupos electrónicos de la estación tapir A PetroOriental, aplicando el mantenimiento centrado en la confiabilidad, en este estudio se aplicó el diseño de investigación no experimental de tipo transversal y en sus conclusiones manifestó: a) Mediante la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a los grupos electrónicos de la estación tapir A del bloque 17 se incrementó la disponibilidad de los generadores del 93.3% al 95.5%, b) Con el incremento de la disponibilidad también se incrementó la producción de crudo de la empresa en 6.964 barriles si relacionamos los datos del segundo semestre del 2015 y el primer semestre del 2016.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Osorio (2016), presento en la Universidad Nacional Del Centro Del Perú, para obtener el grado de Ingeniero Mecánico con mención en didáctica universitaria; la tesis titulada “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la perforadora diamantina Superdrill H600 de la empresa Maqpower S.A.C”; el objetivo general de la investigación fue diseñar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la perforadora diamantina Superdrill, en este estudio se aplicó un diseño explicativo, específicamente un explicativo simple; en sus conclusiones manifestó: a) El plan de mantenimiento se realizó de acuerdo a las necesidades de la empresa mejorando la disponibilidad de un 86.86% a un 93.14% superando la meta planteada de un 92%; b) Asimismo esto mejoro los procesos de mantenimiento por consecuencia se redujo las paradas de los equipos.

Alvarez (2018), presento en la Universidad Nacional Del Callao, para obtener el grado de Ingeniero Mecánico con mención en didáctica universitaria; la tesis titulada “Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de los Motores Caterpillar 3516 de los Grupos Electrógenos de una Refinería de Petróleo Iquitos – Perú”; el objetivo general de la investigación fue diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los motores CAT 3516 de los grupos electrógenos, en este estudio se aplicó el diseño de investigación no experimental de tipo transversal, en sus conclusiones manifestó: a) el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a los motores CAT 3516 de los grupos electrógenos, aumentó el índice de disponibilidad en un 1.4% para el sistema de generación con respecto al promedio de la disponibilidad de los años de evaluación, siendo un 9.4% de aumento para el grupo 322-K-1D y un 9.7% para el grupo 322-K-1E.

Bastidas (2013), presento en la Universidad Nacional Del Centro Del Perú, para obtener el grado de Ingeniero Mecánico con mención en didáctica universitaria; la tesis titulada “Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos Olympian GEP110-4 en el proyecto Flowline lote 56 de la empresa Serpetbol Perú SAC”; el objetivo general de la investigación fue aplicar el plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad mediante el estudio de métodos actuales para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos, en este estudio se aplicó una investigación descriptiva, metodología de análisis de causa y falla de equipo; en sus conclusiones manifestó: a) el mantenimiento basado desarrollo un plan de mantenimiento generando una mejora en la disponibilidad de un 4.3%, Asimismo de desarrollo un plan de mantenimiento mejorando los tiempos y en consecuencia se redujo las paradas de los equipos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Variable (X): Metodología del Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)**

#### **2.2.1.1. Mantenimiento**

Mantenimiento: “Acción que ese encarga de que los activos físicos realicen sus operaciones sin dificultad alguna, tal como sus propietarios consideren necesario” (Moubray, 2004, p.7).

El mantenimiento y el RCM: Establece que existen dos conceptos para la planificación de cualquier maquinaria: mantener y modificar. Cuando se inicia por mantener un activo, se quiere que continúe haciendo su trabajo en un determinado estado de conservación para que realice una función específica, al conservar un recurso, el estado en que se anhela mantenerlo debe ser con la finalidad para lo que fue adquirido sin fallas ni percances. Esto nos lleva a la siguiente definición:

#### **2.2.1.2. Tipos de mantenimiento**

Mantenimiento preventivo: Este tipo de mantenimiento se define como la anticipación a las fallas que se presentan en los equipo, con la finalidad de tener un activo físico conservado y disponible cuando se lo requiere. (García, 2003, p.17)

Mantenimiento correctivo (MC): Actividades o tareas, que se realizan para corregir los defectos de las maquinarias que se presentan en producción, los cuales son reportados muchas veces por los operarios. (García, 2003, p.17)

Mantenimiento Autónomo: Es el mantenimiento a cargo del operario, este colaborador que se hará cargo de las tareas rutinarias y sencillas como, limpieza ajuste y lubricación. (Cuatrecasas, 2010, p.56)

### 2.2.1.3. Costos de mantenimiento

**Tecsup (2017) menciona que,** el costo de mantenimiento es la inversión que una empresa realiza para mantener o corregir fallas de un activo físico.

“Los costos de mantenimiento, podemos juntarlos en cuatro bloques:

**Costos Fijos:** Estos costos se componen por, la mano de obra y materiales para efectuar una tarea de mantenimiento.

**Costos Variables:** En el caso de costos variables están referidas a la producción realizada, los cuales van a variar según la producción de la empresa.

**Costos por Falla:** Este tipo de costo se enfoca de manera directa al mantenimiento, ya sea por pérdida de beneficios que puede generar en la empresa.

**Costos Financieros:** Estos costos se refieren a los repuestos que se encuentran en almacenamiento, como también de los equipos en reserva.”. (Tecsup, 2012, p.195)

La suma de estos 4 bloques, nos genera el costo total de mantenimiento

$$\text{Ecuación 4: } \text{CTT} = \text{COSTO FIJO} + \text{COSTO VARIABLE} + \text{COSTO FINANCIERO} + \\ \text{COSTO POR FALLA}$$

### 2.2.1.4. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

**Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:** Actividades que se realizan con la finalidad de hallar la mejor manera de mantener un activo físico para que continúe realizando las operaciones en su actual contexto de operaciones para la cual fue adquirida (Moubray, 2004, p.7).

**Reliability Centred Maintenance (RCM):** Tecsup (2017) menciona que, el RCM es una metodología empleada para asegurar que toda maquinaria siga realizando sus operaciones según las necesidades de los usuarios, en su actual contexto de operaciones.

### **2.2.1.5. Fases para la implementación del RCM**

Fase 0: listado y codificación de equipos

Fase 1: listado de funciones y especificaciones

Fase 2: determinaciones de fallos funcionales y técnicos

Fase 3: determinación de los modos de fallo

Fase 4: análisis de la gravedad de los fallos. (Efectos de falla)

Fase 5: determinación de medidas preventivas

Fase 6: obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas

Fase 7: puesta en marcha de las medidas preventivas obtenidas. (Qualitymant, 2017)

### **2.2.1.6. Las siete preguntas básicas del RCM**

En el proceso de utilización de la metodología RCM se busca contestar de manera correcta las siete preguntas básicas siguientes según la secuencia:

- ¿Cuáles son las funciones? (funciones y criterios de funcionamiento).
- ¿De qué forma falla? (fallas funcionales).
- ¿Qué causa la falla? (modos de fallas).
- ¿Qué sucede cuando hay falla? (efectos de los fallas).
- ¿Qué ocurre si falla? (consecuencia de las fallas).
- ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir las fallas? (tareas predictivas/preventivas).
- ¿Qué sucede si no puede predecirse o prevenirse las fallas? (tareas a “falta de”). (Tecsups, 2012, p.9).

### 2.2.1.7. La evolución del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

En 2004, Moubray nos comenta que en el transcurso del tiempo, el Mantenimiento ha sufrido una transformación, en comparación con otras actividades de tecnología. Estas variaciones están ligadas al continuo incremento y diversidad de los bienes (fábricas, talleres, laboratorios) que deben ser conservados por todos los usuarios, elaboraciones muy complicadas, procedimientos de mantenimiento de actualidad, y una constante de cambio en la ingeniería del mantenimiento. La utilización correcta de la metodología del RCM cambia las relaciones que se tiene entre las personas, activos y recursos; a diferencia de las otras materias, esta disciplina se adelanta a cualquier modo de falla que pueda suceder.

**Nuevas Expectativas del Mantenimiento:** En la figura 2, muestra las nuevas expectativas del mantenimiento. Una máquina fuera de servicio afecta la capacidad de producción y diversos factores en una empresa, por lo tanto aumentan los costos operacionales.

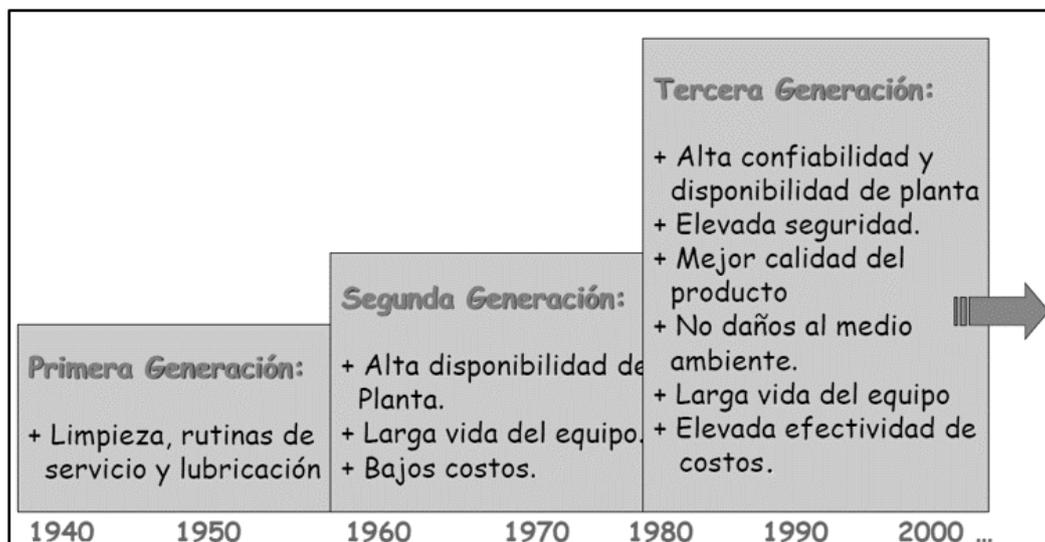


Figura 2. Nuevas expectativas del mantenimiento

Fuente: Tecsup (2017).

**Nueva Investigaciones en mantenimiento:** En referencia a la edad y las fallas, las nuevas expectativas de mantenimiento nos dicen que la relación que hay entre ellas cada vez es menor, ya que un activo puede ser nuevo pero a la vez tener una probabilidad alta de falla, debido a muchos factores ya demostrados en la vida diaria de la industria.

La figura 3, podemos observar los cambios que se dan en un activo físico frente a las fallas. Se tenía la idea que según el pasar del tiempo las maquinarias fallarían por envejecimiento y no por otras circunstancias. En la segunda generación se planteó tener un control más complejo sobre la mortalidad infantil, lo cual generó la creación de la curva de la “bañera”. Pero en la tercera generación ya no plantearon una o dos patrones de falla si no crearon 6 según lo que ocurría en las industrias. (Moubray, 2004, p.4)

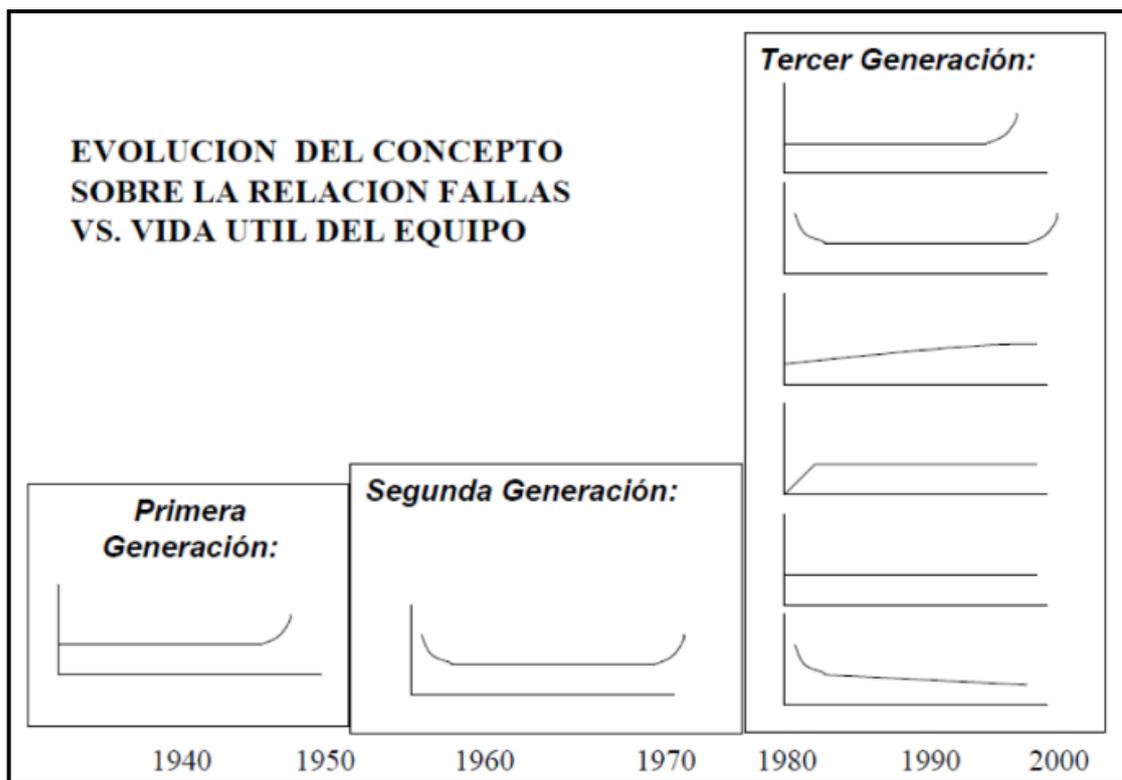


Figura 3. Evolución de las fallas de los activos físicos

Fuente: Moubray (2004)

**Nuevas técnicas de mantenimiento:** Nuevas técnicas y filosofías de mantenimiento fueron desarrolladas en las últimas décadas. La Figura 4, transformación de las fallas de un activo físico, Nos ilustra cómo han ido evolucionando el interés por el control y las mejoras de nuevas tecnologías, esto contiene:

- Sistemas que nos permitan tener un control más exacto entre ellos tenemos, el AMEF, el estudio de riesgo y las reuniones de expertos.
- Nuevas estrategias de mantenimiento como el predictivo.
- El trabajo en equipo, para encontrar diversas soluciones, basada en experiencias. (Moubray, 2004, p.5)

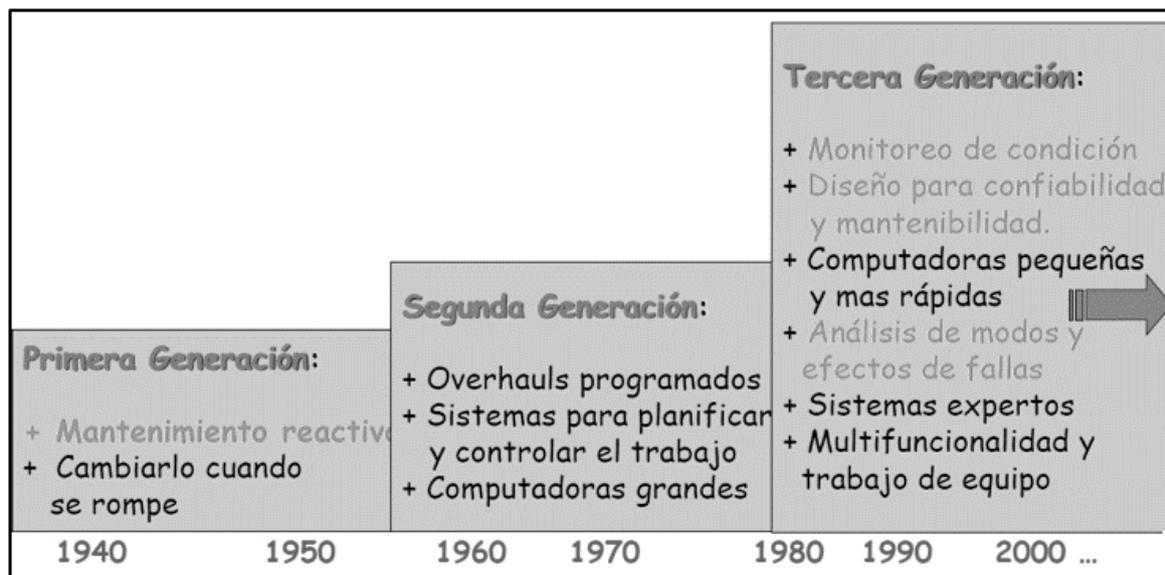


Figura 4. Transformación de las fallas de mantenimiento de un activo físico

Fuente: Moubray (2004)

**Los desafíos que el mantenimiento afronta:** La industria aeronáutica fue la primera en enfrentarse a estos cambios, la causa de esta iniciativa fue darse cuenta que tenían que poner el mismo esfuerzo en realizar las tareas de mantenimiento, pero a la vez saber cuáles eran las tareas primordiales que atender. Todo este análisis se dio lugar en la industria aeronáutica que llevo por nombre MSNG3 para la toma de decisiones, y en otros la llamaron

Mantenimiento Centrado en la confiabilidad o RCM. En casi todas las industrias la metodología RCM, es utilizada para el análisis de los activos físicos, esta técnica no se compara con otras, al momento de tener las tareas necesarias y correctas para mantener los activos físicos enfocados principalmente en momentos críticos donde la seguridad es fundamental.

American Society of Automotive Engineers después de observar los buenos resultados del RCM, no dudaron en hacer pública la norma SAE JA1011: “criterio de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)”. (Moubray, 2004, p.6)

### 2.2.1.8. Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

#### La hoja de información del análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

La figura 5, modo de falla de una bomba nos muestra a detalle las posibles fallas que puede tener una bomba.

RCM Hoja de Información		SISTEMA Sistema agua de enfriamiento	
		SUB-SISTEMA	
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Transferir agua del tanque X al Y a no menos de 800 lt/min.	A Indisponibilidad para transferir agua	1 Rodamientos atascados 2 Impeler golpeado por objeto 3 Motor quemado 4 Acoples rotos por fatiga 5 Válvula de entrada cerrada
		B Transfiere agua a menos de 800 t/min.	

Figura 5. Modo de falla de una bomba

Fuente: Tecsup (2017)

En la primera columna, nos muestra la función del activo, tal como lo describe la norma SAE-JA1011 (1999) “Todos los enunciados de una función deben incluir un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso que se pueda hacer).”

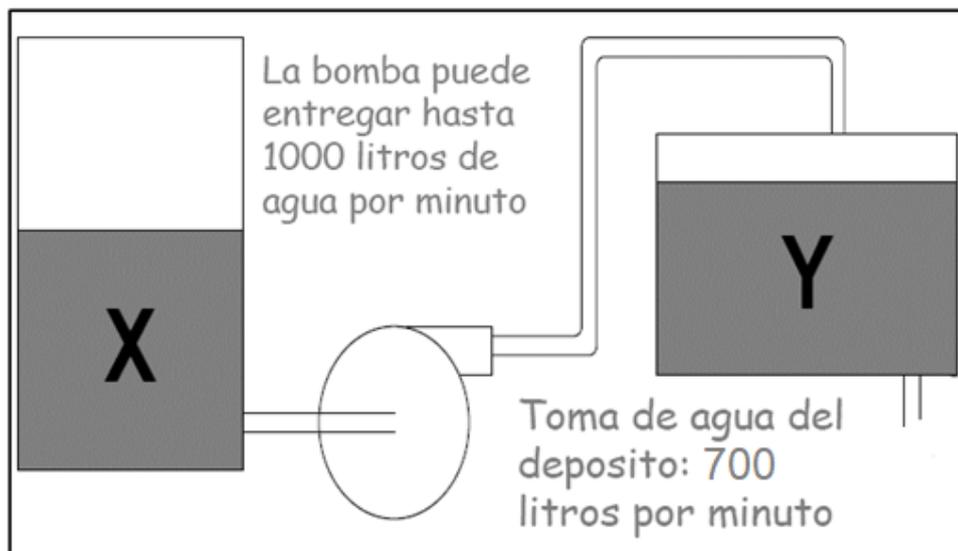
La segunda columna, podemos observar la falla funcional, según la norma SAE-JA 1011 (1999) la que la describe como, “estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado”.

Podemos observar que la tercera columna, nos indica los modos de fallas que puede tener un activo, los cuales son causa de fallas funcionales.

### 2.2.1.8.1. Funciones

Una función debe tener, un verbo, un objeto y una descripción de lo que realiza.

En la figura 6, nos muestra la capacidad ideal vs funcionamiento solicitado. Para este caso, una bomba está bombeando agua hacia un tanque a razón de 700 litros por minuto, esta actividad causa desgaste del activo (modo de falla), como el desgaste de las paletas. Esto va a suceder de manera normal sin importar lo que se va a transportar en la bomba o el material del que esta echo las paletas. La pregunta es, en cuanto tiempo el activo quedara incapacitado de enviar 700 litros por minuto.



*Figura 6. Capacidad ideal vs funcionamiento solicitado*

*Fuente: Tecsup (2017)*

**Estándares de funcionamiento:** Mantenimiento se traza como objetivo, que sus maquinarias realicen sus funciones por las que realmente fueron adquiridas. Se dice que los activos físicos deben trabajar según lo que sus usuarios quieren que haga, en términos generales quiere decir, que puedan desarrollar su funcionamiento en un estándar mínimo. Si se pudiera tener una maquinaria al 100% sin ningún percance en fallas, llegaríamos al fin de la discusión, los activos físicos realizarían su trabajo sin tener necesidad de un plan de mantenimiento. (Moubray, 2004, p.23).

La figura 7, Situación de deterioro, nos muestra la relación entre la capacidad de inicio de un activo y el funcionamiento que se desea tener.

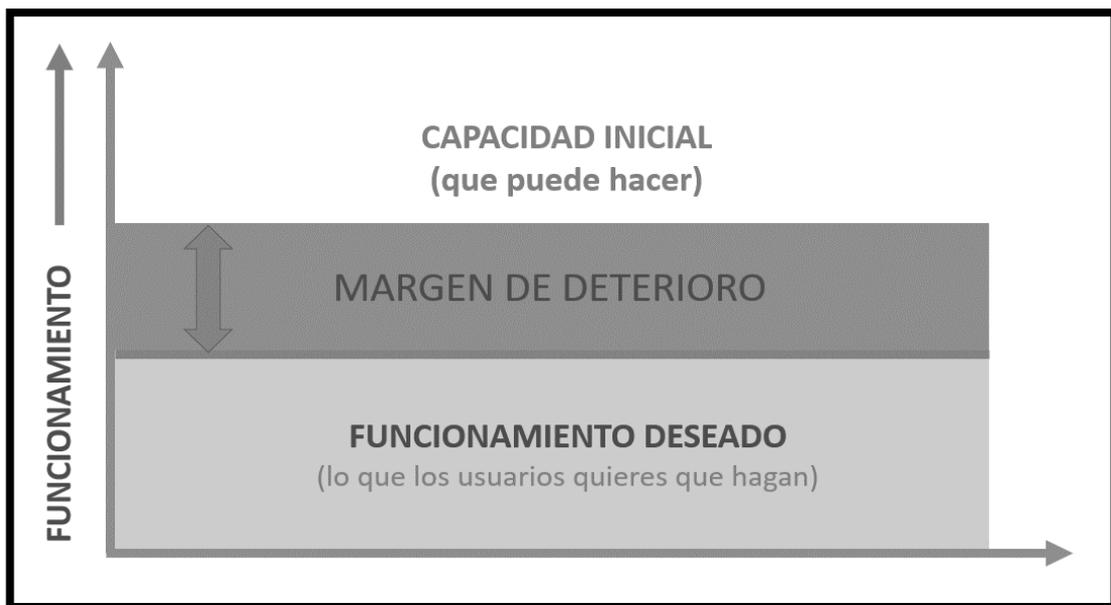


Figura 7. Situación de deterioro

Fuente: Moubray (2004)

La figura 8, describiendo funciones, nos ilustra las funciones de un activo.

Hoja de trabajo de Información RCM II		Sistema:
		Sub-sistema:
Función		
1	Bombear aceite del tanque A al tanque B a no menos de 1000 litros/min	
2	No contaminar el medio ambiente con aceites lubricantes	
3	Seguro cuando esta en estado operativo.	
4	Controles accesibles desde el punto de operación	
5	Estar completamente limpio	

*Figura 8. Describiendo funciones*

*Fuente: Moubray (2004)*

### 2.2.1.8.2. Fallas Funcionales

**Fallas Funcionales:** Cuando el equipo haya definido las funciones y sus estándares, se buscará identificar como puede generar una falla, la perdida de función en un activo. La definición de falla funcional es, la insuficiencia de un activo o elemento en realizar un funcionamiento normal dentro de un estándar establecido. (Tecsop, 2012, p.10).

La figura 9, diferentes puntos de vista de las falla, nos ilustra la relación de condición en el trascurso de un tiempo determinado, donde se puede observar desde una falla parcial hasta la totalidad de esta.



Figura 9. Diferentes puntos de vista de las fallas

Fuente: Tecsup (2017)

Las fallas funcionales se ubicaran después de la función dentro de la hora de trabajo del RCM, y se colocaran según orden alfabético, como se muestra en la figura 10, describiendo fallas funciones.

Hoja de trabajo de Información RCM		Sistema: Alimentación Agua	
		Sub-sistema: Bomba Elevación	
Función		Falla Funcional (Pérdida de Función)	
1	Bompear agua del tanque A al tanque B a no menos de 1000 lt/min	A	No bombea nada de agua
		B	Bombeea menos de 1000 lt/min
2	No contaminar el medio ambiente con aceite lubricante	A	Derrame de aceite en el piso contaminando el medio ambiente
3	Seguro en estado operativo	A	No es seguro cuando esta funcionando
4	Controles accesibles que permitan observar el funcionamiento	A	Ubicación de controles no permiten observar funcionamiento de la bomba
5	Estar completamente limpio	A	Esta sucio

Figura 10. Describiendo fallas funcionales

Fuente: Tecsup (2017)

### 2.2.1.8.3. Modo de falla

Luego se da lugar a la identificación de los modos de fallas y se busca saber cuáles son los que ocasionan mayor pérdida de las funciones de los activos. Esta medida nos ayuda a saber que podemos mejorar a través de un mantenimiento predictivo o preventivo.

Identificar la causa raíz es la mejor opción cuando se está interviniendo este proceso de modos de falla. Lo cual nos beneficiara en el ahorro de tiempo, para posteriores tareas. Tener en claro que el análisis de falla debe tener un nivel adecuado de intervención para mejorar nuestros tiempos en este proceso. (Tecsup, 2012, p.10).

**Categorías de los modos de falla:** se describe en 3 versiones:

- Cuando el funcionamiento deseado tiene por debajo la capacidad (Capacidad Decreciente).
- Cuando la capacidad inicial tiene por encima el funcionamiento deseado. (Aumento del Funcionamiento Deseado).
- Desde el principio un activo físico no cumple con la necesidad por la que fue adquirido (Capacidad Inicial).

**Capacidad decreciente:** Los modos de falla en su primera instancia tiene una capacidad que está por encima de su funcionamiento requerido, pero esto cambia cuando el activo entra en funcionamiento, lo cual hace que vaya quedando por debajo de su funcionamiento requerido, como lo muestra la figura 11, Modo de falla, categoría 1.

A continuación se enumera 5 causas que hacen que las maquinarias pierdan su capacidad:

- Desperfecto.
- No hay uso de lubricantes en los sistemas.

- Falta de limpieza.
- Desarmes.
- Falta de capacitación sobre el uso del activo. (Moubray, 2004, p.61)

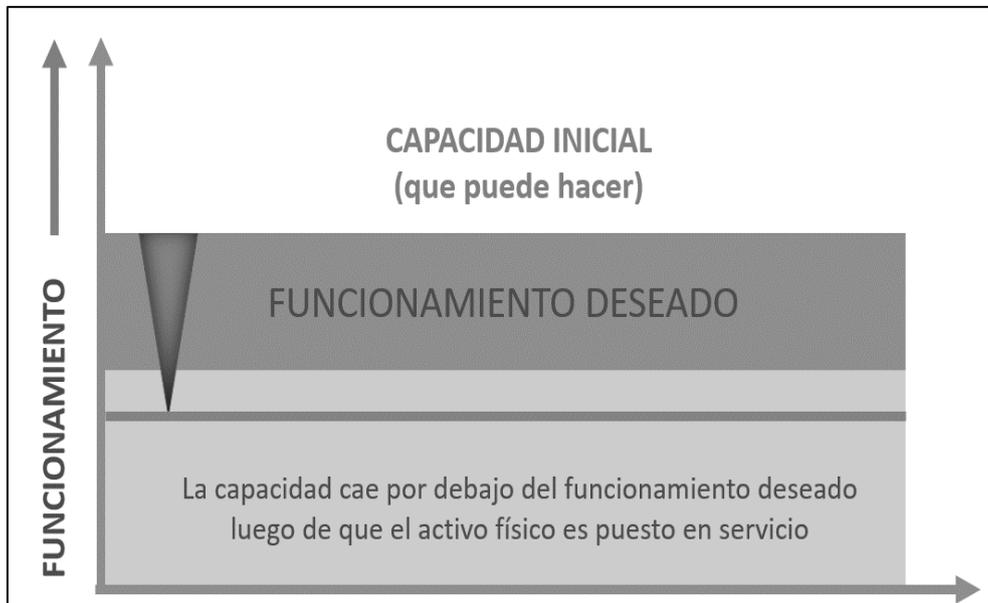


Figura 11. Modo de falla, categoría 1

Fuente: Tecsup (2017)

**Aumento del Funcionamiento Deseado:** Esta parte está referida a que el activo se encuentre en excesivo funcionamiento, las cargas innecesarias hacen que el activo falle de manera pronta y por consiguiente su confiabilidad baje, como nos muestra la figura 12, Modo de falla, categoría 2.

“Ocurre debido a cuatro razones, tres de las cuales implican algún tipo de error humano:

- Sobrecarga deliberada prolongada.
- Sobrecarga no intencional prolongada.
- Sobrecarga no intencional repentina.
- Material de proceso incorrecto” (Moubray, 2004, p.64).

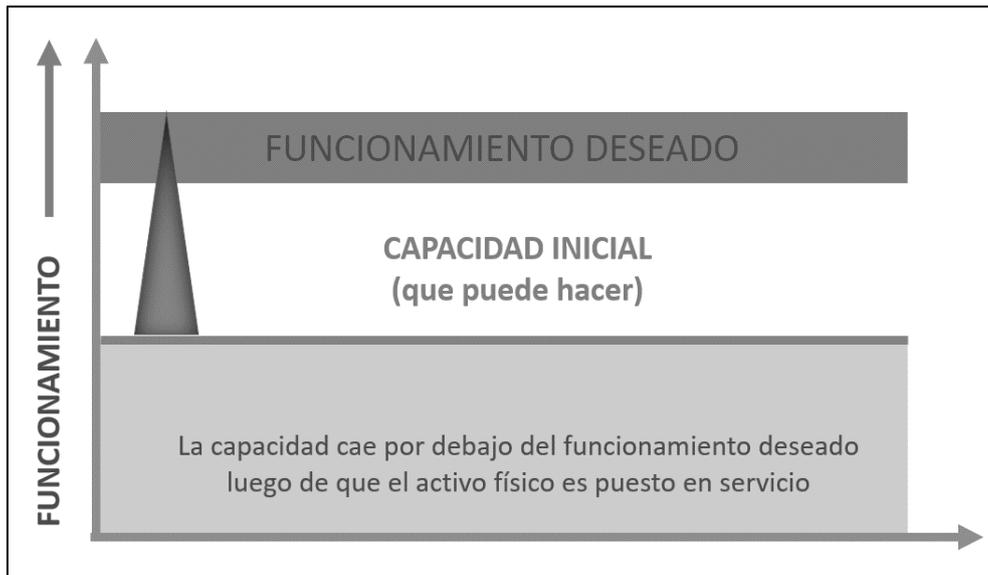


Figura 12. Modo de falla, categoría 2

Fuente: Tecsup (2017)

**Capacidad inicial:** “El funcionamiento deseado debe estar dentro del rango de su capacidad inicial. También se mencionó que, de hecho, la mayoría de los activos están diseñados bajo este concepto. No obstante, surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado esta fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo”, tal como lo ilustra la figura 13, Modo de falla, categoría 3. (Moubray, 2004, p.67).

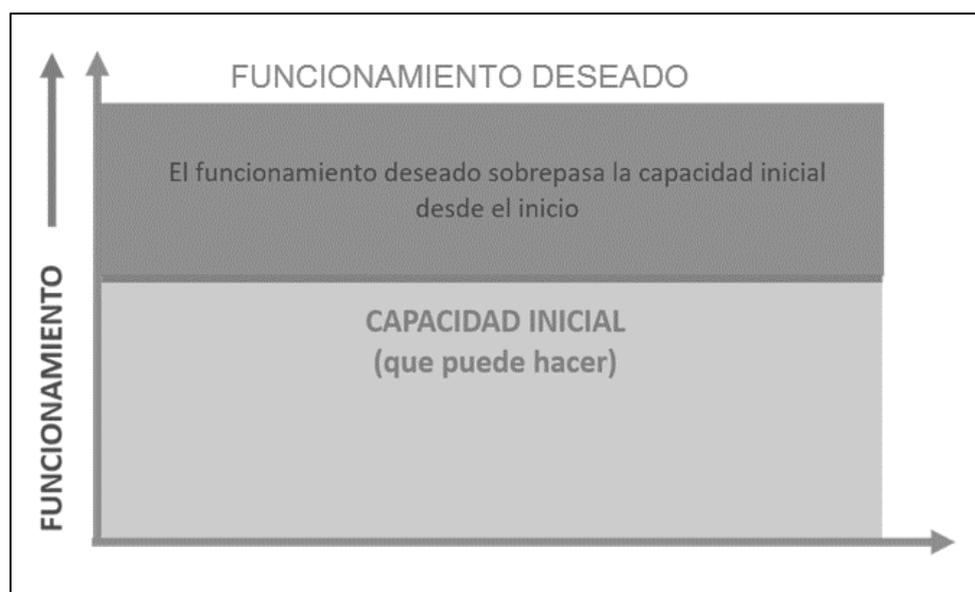


Figura 13. Modo de falla, categoría 3

Fuente: Tecsup (2017)

#### 2.2.1.8.4. Efectos de falla

Al no realizar ninguna tarea específica, no se podrá identificar fallas o hallar inconvenientes, dichos efectos de falla deberán tener el historial requerido para que las consecuencias de falla puedan realizarse con todo el rigor necesario Para esto, se debe tener en cuenta las siguientes preguntas:

- “¿Qué evidencia (si existe alguna) que la falla ha ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que podría pasar si ocurre una falla múltiple)?
- ¿Qué hace (si ocurre algo) para matar o dañar a alguien, o para tener efectos adversos en el ambiente?
- ¿Qué hace (si hace algo) para tener un efecto adverso en la producción o en las operaciones?
- ¿Qué daño físico (si existe alguno) causa la falla?
- ¿Qué (si existe algo) debe ser hecho para restaurar la función del sistema después de la falla?” (SAE-JA1011, 1999)

El tiempo de parada de máquina es igual al tiempo en que un activo permanece fuera de servicio, desde el momento en que la máquina deja de funcionar hasta que el activo comience a realizar sus funciones, según la figura 14, Activo fuera de servicio vs. Tiempo de solución.



Figura 14. Activo fuera de servicio vs. Tiempo de solución

Fuente: Tecsup (2017)

#### 2.2.1.8.5. Consecuencia de falla

SAE-JA1011 (1999) menciona que, la consecuencia de la falla se deben categorizar en:

- Consecuencias de falla debido a los modos de fallas evidentes frente a los modos de falla que muchas veces son ocultos.
- Pero también las consecuencias de fallas se deben diferenciar en modo de fallas y fallas múltiples, los cuales generan consecuencias relacionadas al medio ambiente y a la seguridad de los colaboradores.
- Tener en cuenta sobre los modos de falla pueden tener impacto en la economía de la empresa y se manifestarán como consecuencias operacionales y no operacionales.

**Consecuencia de las fallas ocultas:** Estas no están relacionadas directamente con la organización pero pueden traer consigo consecuencias catastróficas.

**“Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si su ocurrencia genera condiciones que pueden propiciar lesiones o incluso la muerte de personas. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normativas municipales, regionales o nacionales relacionadas con el medio ambiente.”  
(Tecsop, 2012, p.15).

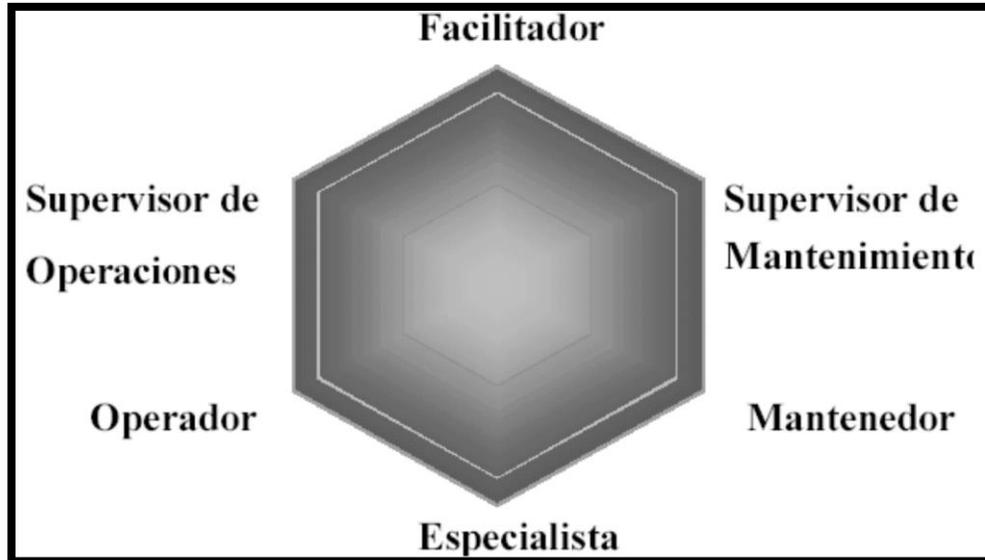
**Consecuencias operacionales:** “Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costes industriales en adición al coste directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero y lo que cuesten sugiere cuánto se puede destinar en tratar de prevenirlas”. (Tecsop, 2012, p.15).

**Consecuencias no operacionales:** “Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación”. (Tecsop, 2012, p.11).

### 2.2.1.9. Componentes del RCM

Grupos de trabajo en RCM: El realizar un grupo de trabajo, no debe ser algo complicado o rígido, cada persona responsable encargada de establecer este grupo debe tener en cuenta que la persona elegida sea ideal para cubrir la necesidad de dicho puesto, para ello los colaboradores deben estar seguros que el encargado de dirigir este equipo, sea un verdadero líder, que conozca muy bien el sistema, los equipos, la planta en general y sobre todo debe conocer y tener claro los objetivos empresariales que se está buscando implantar en el departamento de mantenimiento, pues en sus manos estará llevar el equipo a la excelencia cumpliendo con las metas propuestas. (González, 2005, p.99-100).

En la Figura 15, se muestran los equipos naturales de trabajo. Tener un equipo de trabajo permite mejorar la perspectiva de lo que se desea conseguir, ya que se aprovecha al máximo la experiencia de cada colaborador sobre el conocimiento del activo a estudiar.



*Figura 15.* Equipos naturales de trabajo

*Fuente:* Tecsup (2017)

**Facilitadores:** El grupo de trabajo del RCM, debe contar con un especialista, estos colaboradores tienen la mayor importancia dentro de la implementación y revisión del RCM, así como asegurar que:

- El proceso del RCM se debe desarrollar de manera eficiente, las tareas deben ser realizadas con claridad, nada debe quedar sin resolver y además se debe mantener los registros de las actividades desarrolladas, para que de esa manera se pueda realizar mejor los análisis.
- La documentación del RCM debe ser claro para su comprensión de todos los participantes del equipo revisión.
- El análisis del RCM debe mantener una idea concisa, para su entendimiento rápido. (González, 2005, p.101).

### 2.2.1.10. Aplicación del proceso de RCM

En la figura 16, proceso del RCM, podemos observar las funciones del activo hasta las tareas proactivas que se proponen para eliminar las fallas.

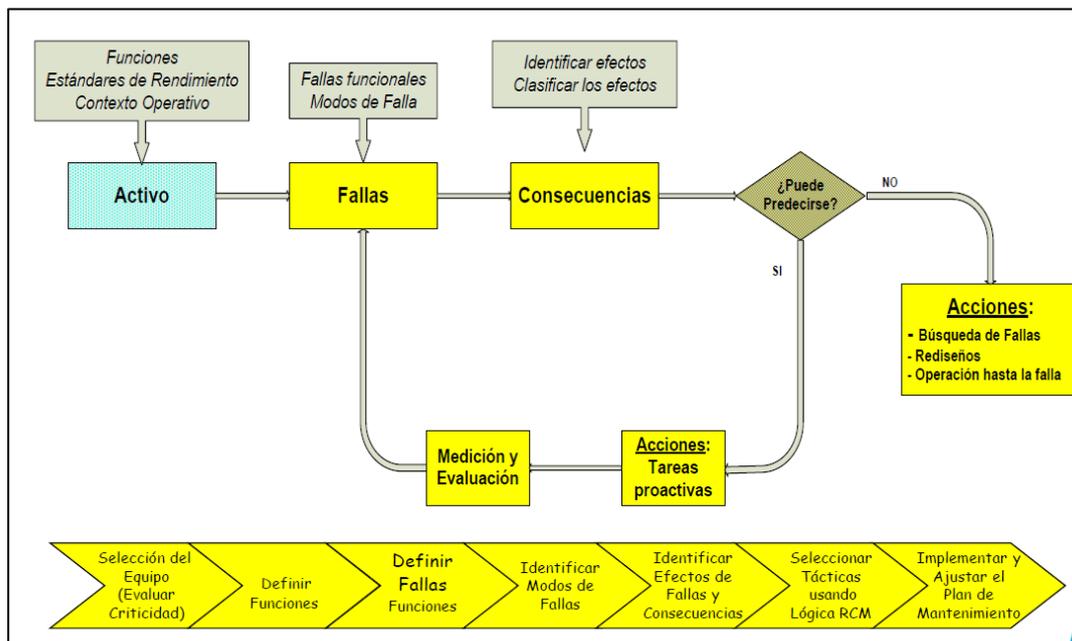


Figura 16. Proceso del RCM

Fuente: Tecsup (2017)

**Planeamiento:** Al planificar y aplicar de manera correcta el RCM, se lograra los mejores resultados en mantenimiento, esto suele suceder de manera rápida. Pero para poder definir mejor el RCM se requiere seguir el siguiente proceso:

- Establecer que áreas se beneficiaran con la implementación del RCM.
- Tener un control de las evaluaciones que se realizaran, para saber que equipos serán los estudiados.
- Una vez realizado los estudios, sustentar si la inversión es justificada para proceder con la asignación de una auditoria.
- Definir el contexto de operaciones de los activos para su claro entendimiento.

(Moubray, 2004, p.16-17).

**El contexto operacional:** Cuando se habla del contexto operacional, está referida a los factores que intervienen en el desempeño del activo o sistema en cuestión, a medida de ejemplo, no es lo mismo que una determinada bomba opere con agua a que con aceite, o que este instalada a nivel del mar o a 4800 msnm, las condiciones de funcionamiento no serán las mismas y esto lo determina las funciones asignadas al equipo o sistema. Tener en cuenta que el contexto de operaciones de los activos no solo pueden complicar las funciones, también puede incurrir en los modos de falla. Entonces se debe tener en claro el contexto de operaciones del activo a estudiar por parte de las personas que van a aplicar el RCM.

(Alvarez, 2018, p.33).

**Estándares de calidad:** “Los estándares de calidad y los estándares de servicio al cliente son otros dos aspectos del contexto operativo, que pueden dar lugar a descripciones diferentes de funciones de máquinas que de otra manera serian idénticas” (Moubray, 2004, p.31).

**Estándares de medio ambientales:** En la actualidad, una parte del contexto operacional de las maquinarias es, como afecta al medio ambiente. Lo que significa que tenemos que tener en cuenta que al realizar un mantenimiento debemos seguir las normativas ambientales establecidas, debemos priorizar a nuestros colaboradores y a la población en general, desarrollando tareas que cumplan con los protocolos sin hacer daño el medio ambiente. (Moubray, 2004, p.31).

**Riesgo de seguridad:** El RCM, establece en las organizaciones niveles de seguridad que se debe respetar, la seguridad en la implementación del RCM es indispensable, ya que al realizar cada tarea de mantenimiento, se hace siguiendo los protocolos de seguridad impuesta por la empresa donde se realice esta metodología. Todo esto está relacionado en definitiva con el contexto operacional de los activos. (Moubray, 2004, p.32).

#### **2.2.1.11. El diagrama de decisión del RCM**

Es un cuadro donde se podrá establecer decisiones en el análisis del modo y efecto de fallas, para mayor información ver Anexo 2. En función de dicho análisis, podremos registrar:

- “Que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quien lo hará.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.” (Moubray, 2004, p.202).

En la figura 17, formato de decisión RCM, se observa la hoja de decisión del análisis del AMEF. Con la ayuda de esta hoja determinaremos las tareas propuestas según el formato de decisión.

HOJA DE DECISIÓN RCM (AMEF)												
HOJA DE DECISIÓN	SISTEMA:		FACILITADOR:									
REFERENCIA DE INFORMACIÓN	SUB-SISTEMA:		FECHA DE ANÁLISIS:									
	EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS		H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL (HORAS)	REALIZARSE POR	
			S1	S2	S3	O1	O2	O3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4

Figura 17. Formato de decisión RCM

Fuente: Moubray (2004)

El formato de decisión está separada en dieciséis columnas, por ejemplo el F, FF, MF nos indican las funciones, fallas de funciones y los modos en que se producen estas fallas que se analizaran en esa fila. A continuación se muestra diez columnas que se basan en la toma de decisión del RCM, entonces:

Los espacios con título H, S, E, O, y N se utilizan para resolver las preguntas sobre las consecuencia que genera cada modo de falla.

Los tres espacios siguientes (tituladas H 1, H2, H3, etc.) se colocan si ha sido elegida una tarea proactiva, y que tipo de tarea asignarla

Si se tiene que responder "a falta de", las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4 serán donde se podrá colocar una respuesta.

Las últimas tres columnas colocan la tarea que se utiliza (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse, y quien ha sido seleccionado para realizarla. La columna de "Tarea Propuesta" también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado. (Moubray, 2004, p.206).

### 2.2.1.11.1. Los resultados de un análisis de RCM

Si la metodología se aplicó según lo visto anteriormente, el RCM al ser analizado arrojará 3 resultados.

- Elaboración de planes de mantenimiento por parte del equipo del RCM.
- Revisión de las tareas de operaciones por parte de los operadores de máquina.
- Sugerencias en el rediseño de equipos, o mejoramiento de las operaciones de este, con la finalidad de mejorar el funcionamiento requerido en su actual contexto operacional. (Moubray, 2004, p.18).

### 2.2.1.12. Tareas de mantenimiento

**Moubray (2004) menciona que, las Tareas proactivas** deben anticiparse a las fallas, la finalidad de esta tarea es evitar el activo falle, esto se define como intervención "predictiva" y "preventiva", aunque RCM utiliza otros términos.

#### 2.2.1.12.1. El proceso de selección de tareas de RCM

El RCM tiene la forma práctica de ofrecer criterios fáciles, adecuados y muy interesantes, para que podamos saber qué tipo de tarea proactiva es la más fácil de utilizar en el actual contexto operacional y cuál de ellas es la que nos beneficiará y además con qué frecuencia aplicarlas para tener resultados positivos.

Una tarea proactiva será utilizada si es que cumple con las características técnicas en base a la tarea seleccionada y el tipo de falla que desea eliminar. Todo dependerá de cómo utiliza las consecuencias de falla. Al no encontrar una tarea que nos ayude a reducir estos problemas, se tiene que tomar medidas. Tener en cuenta el proceso de selección de tarea tal como se muestra a continuación.

Con respecto a las fallas ocultas, valdrá la pena realizar una tarea proactiva siempre y cuando logremos reducir una falla a un nivel de riesgo realmente mínimo.

Si la falla posee consecuencias sobre la seguridad y el medio ambiente, se utilizara una tarea proactiva siempre y cuando reduzca la falla a un nivel de riesgo realmente mínimo o la elimine.

Con respecto a las consecuencias operacionales y las fallas, se impondrá una tarea proactiva siempre y cuando después de un análisis se logre comprobar que el costo total sobre la consecuencia operacional más la reparación sea menor a la utilizada para reducir la falla a un nivel de riesgo bajo o la elimine en un tiempo determinado.

Si la falla tiene consecuencias no operacionales, se impondrá una tarea proactiva siempre y cuando después de un análisis se logre comprobar que el costo total sobre la consecuencia operacional más la reparación sea menor a la utilizada para reducir la falla a un nivel de riesgo bajo o la elimine en un tiempo determinado.

Todo esto se concluye que para poder incluir una tarea proactiva se tiene que tener en claro si es que la falla realmente lo necesitan, si se logra hacer eso, las reducciones de cargas de trabajo serán mínimas. Al tener menor carga de trabajo, se tendrá la certeza de que el resto de actividades se efectuaran de manera correcta. (Moubray, 2004, p.15-16).

#### **2.2.1.12.2. ¿Qué logra el RCM?**

Mejoras en el cuidado del medio y la seguridad: el RCM establece mucho control sobre las fallas con respecto a la seguridad y controles ambientales antes de analizar sus efectos en los trabajos.

Mejores resultados en la calidad del producto y trabajos para los clientes: el RCM, establece criterios sobre los tipos de mantenimiento, cada uno de ellos tiene una importancia diferente, el RCM indica cuando será el momento oportuno para cada tipo de mantenimiento.

Mayor costo-eficacia del mantenimiento: El RCM visualiza y prioriza las tareas de mantenimiento, según la importancia que genera en la empresa.

Mejora el ciclo de vida de los activos costos: Ya que analiza, de manera minuciosa las técnicas adecuadas para realizar el mantenimiento.

Registro de datos generales: La revisión del RCM culmina con el registro de datos que todos los activos físicos han requerido en el proceso. Esto concluye, que el RCM, después del análisis pueda adaptarse a nuevos cambios en vista a nuevas tecnologías.

Mayor motivación de los colaboradores: Principalmente a los colaboradores que están dentro del grupo revisión. Esto ayuda a que el entendimiento sobre el activo estudiado en su actual contexto operacional sea más claro, lo que genera que tengan una mejor perspectiva sobre los percances que tienen en mantenimiento y sus soluciones.

Eficacia en el trabajo en equipo: El RCM tiene la ventaja de manejar una comunicación técnica fácil, lo que permite que cualquier colaborador pueda entender la finalidad del mantenimiento. (Moubray, 2004, p.19-21).

### **Variable (X): Disponibilidad de las extrusoras**

#### **2.2.1.13.Extrusora hidráulica**

Una extrusora hidráulica es una prensa que se utiliza para extruir barras, tubos y perfiles, moldeándolos y dándoles la forma deseada. Una de las ventajas de este proceso de extrusión es la forma geométrica que puede construir a través de la ayuda de fuerza hidráulica y las matrices, dando como resultado formas perfectas para su distribución. (Tecsop, 2017)

#### **2.2.1.14.Disponibilidad**

Facultad de un activo de realizar su trabajo en un tiempo establecido sin importar la situación anterior. (ISO 14224, 2016)

$$\text{Ecuación 1: DISPONIBILIDAD} = D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

**Rodríguez (2008)** menciona que, la **disponibilidad** es la primordial referencia de la gestión del mantenimiento, ya que restringe la productividad de la empresa. La disponibilidad es la probabilidad de que un activo o línea de producción estén preparados para trabajar en un tiempo establecido, sin averías o fallas que perjudiquen la producción.

**De igual manera Arques (2009)** menciona que, la **disponibilidad** se define como la probabilidad de que un activo realice las funciones necesarias en un instante o periodo de tiempo determinado.

**Por su parte Gómez (1998)** indica que, el termino **disponibilidad** es la capacidad de un activo que será utilizado cuando se lo requiera. Esto es, en definitiva, el motivo central del mantenimiento, ya que si se encuentra la manera de medir la disponibilidad de distintos elementos, que tiene una instalación de estudio, se tendrá una medida del rendimiento del mantenimiento realizado.

#### 2.2.1.15. Indicadores de mantenimiento

**Tiempo de operación (TOP):** Tiempo en el que el activo ha venido funcionando, cumpliendo con su función.

**Número de falla (N°F):** Las veces que el activo ha presentado un problema o dificultad por el cual recibe una atención.

**Tiempo medio entre fallas (MTBF):** Indica el tiempo promedio que existe entre falla y falla para los componentes, equipos o unidades. (ISO 14224, 2016)

$$\text{Ecuación 2: MTBF} = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}}$$

**Tiempo medio de reparaciones (MTTR):** Indica el tiempo promedio entre las fallas para los componentes, equipos o unidades. (ISO 14224, 2016)

$$\text{Ecuación 3: MTTR} = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

**Tiempo de reparación:** “El tiempo de reparación está influido por la velocidad de respuesta de la falla que está a su vez determinada por el sistema de reportes de falla, por el nivel del personal, y por la velocidad de reparación de la misma” (Moubray, 2004, p.33).

### **Términos relacionados a las variables de estudio**

#### **2.2.1.16. Análisis de criticidad**

**Tecsup (2012) menciona que,** el análisis de criticidad es una herramienta de gestión que te permite localizar y visualizar los recursos de una organización, que están más propensas al peligro generándoles un daño por algún impacto negativo. Con la finalidad de tomar las decisiones y medidas adecuadas para la superación de las vulnerabilidades y la reducción de las amenazas. La criticidad provee al mantenimiento, la capacidad de priorizar objetos con la finalidad de brindar atención especial y recursos a aquellos que son propensos a incumplir sus funciones a causa de factores desestimados.

#### **Formula de la Criticidad:**

Ecuación 4: Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Consecuencia = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + (Costo Mantenimiento) + (Impacto Seguridad y Medio Ambiente), Donde:

**Frecuencia de Fallas:** Es el número de veces que se repite un evento considerado como falla dentro de un período de tiempo. Entonces obtendremos 4 posibles calificaciones para este ítem.

En la figura 18, Evaluación de Criticidad, se establece los valores de cada criticidad, cada enunciado contiene diferentes resultados con calificaciones diferentes, se debe tener en cuenta que cada resultado tiene su propio valor. Esto dependerá de la situación de cada activo a estudiar.

VALOR FRECUENCIA DE FALLAS	
4	ALTA: Mas de 5 fallas por año
3	PROMEDIO: 3 a 4 fallas por año
2	BAJA: 1 A 2 fallas por año
1	EXCELENTE: 0 Fallas por año
VALOR IMPACTO OPERACIONAL	
10	Parada inmediata de toda la planta
6	Parada inmediata de un sector de la línea productiva
4	Impacta los niveles de producción o calidad
2	Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo
1	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción.
VALOR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
4	No existe opción de producción y no existe función de respaldo (Backup)
2	Existe opción de respaldo compartido
1	Existe opción de respaldo disponible
VALOR COSTO DE MANTENIMIENTO	
1	o\$ a 300\$
5	300\$ a 500\$
10	500\$ a 800\$
20	800\$ a mayor
VALOR IMPACTO EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	
40	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna
32	Afecta al medio ambiente produciendo daños severos
24	Afecta las instalaciones causando daños severos
16	Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio
8	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales
0	No provoca ningún daño a las personas, instalaciones ni ambiente.

Figura 18. Evaluación de la Criticidad

Fuente: Tecsup (2017)

En la figura 19, Matriz de criticidad, para encontrar la criticidad de un activo o componente se hace uso de una matriz de frecuencia por cada consecuencia del problema o falla. Por un lado del eje se ubican la frecuencia y por el otro las consecuencias donde se situaran los activos a ser estudiados según su falla.

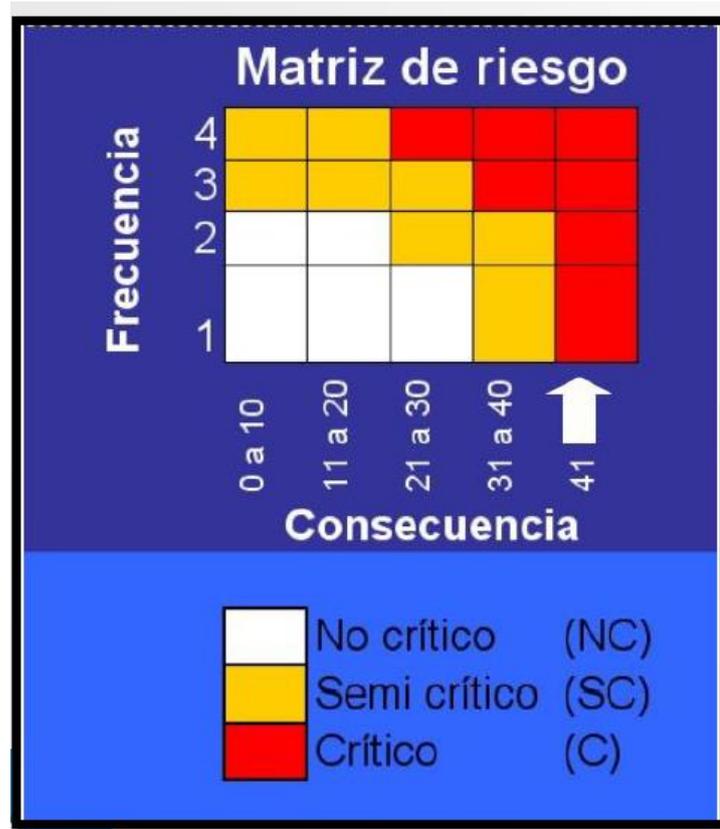


Figura 19. Matriz de Criticidad

Fuente: Tecsup (2017)

### 2.2.1.17. Total Productive Maintenance (TPM)

“Es el mantenimiento productivo total que mejora permanentemente la efectividad global de los equipos, con la activa participación de los operadores de tal manera que:

- Se pueda alcanzar el mayor uso efectivo del equipo
- Diseñar un MP efectivo
- Atraer a todas las personas relacionadas con el equipo.”. (Tecsup, 2012, p.182)

### 2.2.1.18. Número prioritario de riesgo (NPR)

“Es un valor que establece una jerarquización de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla identificado”. (Lean Solutions, s.f.)

La figura 20, ponderación del NPR nos muestra a detalle la toma de decisión frente al resultado obtenido por el nivel de ocurrencia\*severidad\*detección.

NPR = Ocurrencia * Severidad * Detección	
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Figura 20. Ponderación del NPR

Fuente: Lean Solutions

La figura 21, escala de severidad, ocurrencia y probabilidad de detección podemos observar el intervalo donde se encontrará nuestro modo y efecto de falla según nuestra decisión.

Intervalo	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (P)
10-9	Efecto principal/ Muy alta severidad	Muy alta probabilidad de ocurrencia	Prácticamente imposible de detectar
8-6	Inconveniente mayor	Alta probabilidad de ocurrencia	Baja capacidad de detección
5-3	Inconveniente menor	Moderada probabilidad de ocurrencia	Alta capacidad de detección
2-1	Mínimo efecto/Sin efecto	Baja probabilidad de ocurrencia	Muy alta capacidad de detección

Figura 21. Escala de severidad, ocurrencia y probabilidad de detección.

Fuente: Scielo

#### 2.2.1.19. Auditoría e implementación

Moubray (2004) nos explica que, una vez que se haya terminado la evaluación de las máquinas, los encargados del equipo del RCM deben corroborar que las acciones o decisiones de los colaboradores sean las más adecuadas y sustentables. Después de que cada evaluación es aprobada, los aportes son implementados en los planes de mantenimiento, ingresando cambios en las operaciones a los activos en estudio e informando sobre los cambios a quienes se encargaran de ejecutarlo.

### **2.2.1.20. Seis tipos de fallas en el ciclo de la vida de un activo**

**Tecsup (2012) menciona seis tipos de fallas en el ciclo de la vida de un activo tal como podemos observar a continuación:**

El tipo A es la ya conocida curva de la "bañera". Empieza con una alta tasa de fallas llamada "mortalidad infantil", luego visualizamos una seguida probabilidad condicional de imprevistos, y finalmente en una demarcación de desgaste.

El tipo B ilustra una probabilidad de falla constante desde el inicio, y culmina en una demarcación de desgaste.

El tipo C ilustra una probabilidad condicional de falla que aumenta de manera lenta, pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable.

El tipo D ilustra una baja probabilidad condicional de falla cuando el activo es nuevo y luego un veloz incremento a un nivel de probabilidad constante.

El tipo E ilustra una probabilidad de falla constante a lo largo de la ciclo de vida del activo.

El tipo F empieza con una mortalidad infantil, para luego culminar en una probabilidad constante de falla.

Existen G maneras en que la probabilidad condicional de falla puede aumentar a medida que un componente envejece. Tal como nos ilustra la Figura 22, los seis tipos de falla.

Probabilidad Condicional de falla

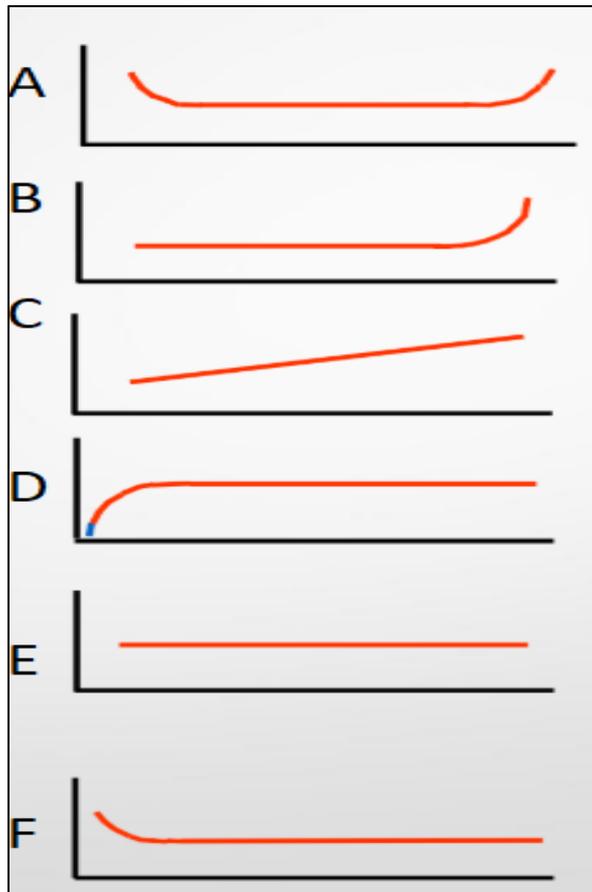


Figura 22. Los seis tipos de falla

La figura 23, secuencia tradicional de las fallas nos muestra, la probabilidad condicional de falla que tiene un activo en el tiempo, esto nos ayuda a tener antecedentes de fallas, lo cual nos permite evitar llegar a la zona de desgaste.

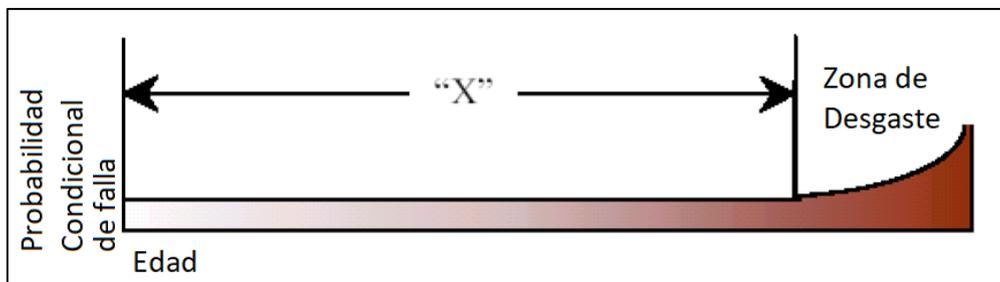


Figura 23. Secuencia tradicional de las fallas

Fuente: Tecsup (2012)

### 2.3. Definición de términos básicos

**Mantenimiento centrado en la Confiabilidad (RCM):** Es una metodología utilizada para establecer que es lo que se tiene que hacer para que de manera segura todo activo físico siga realizando las funciones por las que fue adquirida en su actual contexto operacional.

(Moubray, 2004)

**Mantenimiento Productivo Total (TPM):** Es una filosofía, la cual se encarga de implementar una idea general, que abarca con todas las unidades de la empresa, la cual tiene como objetivo lograr la efectividad global de los activos físicos. (Tecsup, 2012, p.182)

**Disponibilidad:** Facultad de un activo de realizar su trabajo en un momento establecido sin importar la situación anterior. (ISO 14224, 2016)

**MTBF:** Indica el tiempo promedio entre las fallas para los componentes, equipos o unidades. (ISO 14224, 2016)

**MTTR:** Indica el tiempo promedio entre las fallas para los componentes, equipos o unidades. (ISO 14224, 2016)

**SAE:** Técnica Americana la cual se denomina Sociedad de ingenieros automotrices.

**AMEF:** Análisis del modo y efecto de fallas (ISO 14224, 2016)

**Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un activo físico no falle en el momento que se le requiera, de tal modo que cumpla con la necesidad por la cual fue adquirida. (Tecsup, 2012, p.182)

**Mantenimiento:** Intercambio de acciones técnicas y administrativas, con la finalidad de mantener o reparar un activo físico, con el objetivo de que este cumpla con sus funciones requeridas (ISO 14224, 2016)

**Soldadura:** Proceso que permite unir materiales a través de material de aporte.

**ISO:** Organización Internacional de Normalización

**Falla:** Incapacidad de un activo físico para realizar su función requerida, siempre y cuando no ocurra en el mantenimiento preventivo o en otras circunstancias previstas. (ISO 14224, 2016)

**Tiempo de Reparación:** Es el tiempo oportuno para darle solución a un problema, de tal manera que el activo quede a disposición para producir (García, 2003, p.101)

**Costo de Mantenimiento:** Es el precio que se genera con la finalidad de mantener activos físicos en buenas condiciones.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de Investigación**

La presente investigación según la finalidad es de tipo aplicada, debido a que se logró aplicar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad y técnicas de mantenimiento, con la finalidad de mejorar la disponibilidad, los tiempos de reparación, la reducción de número de fallas y los costos de mantenimiento. (Sánchez y Reyes, 2015).

### **3.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **3.2.1 Técnica**

La técnica utilizada en el estudio fue la observación directa, la entrevista, y análisis de normas.

#### **3.2.2 Instrumentos de recolección de datos.**

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos en la presente investigación sobre la implementación de la metodología RCM y los efectos en la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c fueron: Ficha técnica, cuestionario, check list, portafolio de criticidad, reporte de fallas y reportes de costos de mantenimiento.

#### **3.2.3 Instrumentos de análisis de datos.**

Los instrumentos de análisis utilizados para la recolección de datos en la presente investigación sobre la implementación de la metodología RCM y los efectos en la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c fueron: El Excel, otros.

### 3.3. Procedimientos para el desarrollo de la investigación

#### 3.3.1. Procedimientos utilizados en la investigación -Resumen

Tabla 1

*Procedimientos para la investigación – Resumen*

<b>Resumen de procedimientos para la investigación</b>	
<b>Inicio</b>	1. Diagnóstico inicial (Línea de base) 2. Recolección de información. 3. Revisión y análisis de la información:
<b>Desarrollo</b>	4. Selección del equipo de trabajo RCM 5. Entrenamiento y capacitación 6. Se determinó el contexto operacional de las extrusoras hidráulicas 7. Se resolvió las 7 preguntas básicas del RCM 8. Fases para cada uno de los sistemas o elementos que componen las extrusoras hidráulicas
<b>Resultados</b>	9. Cumplimiento de los objetivos propuestos

*Nota:* se detalla los procedimientos que se llevaron a cabo en la investigación.

#### 3.3.2. Procedimientos utilizados en la investigación -descripción detallada

1. Diagnóstico inicial (Línea de base) : Para esta investigación sobre la implementación de la metodología RCM y los efectos en la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c se realizó un diagnóstico de los equipos de planta siguiendo el siguiente orden:

- Análisis de la disponibilidad actual de los equipos críticos.
- Con la ayuda del análisis de Pareto se obtuvo las fallas con mayor frecuencia en las extrusoras hidráulicas.

2. Recolección de información: Para esta investigación sobre la implementación de la metodología RCM y los efectos en la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c se recopiló la siguiente información:

- Criticidad
- Reporte de costos de mantenimiento
- Ficha técnica. De los equipos
- Reporte de fallas.
- Personal de mantenimiento.
- Manual de mantenimiento de los equipos

3. Revisión y análisis de la información: Luego de tener la Información sobre el estado actual de las extrusoras hidráulicas, se realizó el análisis de:

- Criticidad
- Reporte de costos de mantenimiento.
- Ficha técnica.
- Reporte de fallas.
- Personal de mantenimiento.
- Manual de mantenimiento

4. Selección del equipo de trabajo RCM: Se procedió a la selección del equipo de trabajo del RCM, líder del RCM, Jefe de mantenimiento, técnico de mantenimiento y Auxiliar de mantenimiento.

5. Entrenamiento y capacitación: Para poder implementar el RCM, se realizaron capacitaciones continuas sobre la metodología y las actividades que cada persona del equipo iba a desarrollar.

6. El contexto operacional de las extrusoras hidráulicas: Luego de tener información basta, se determinó en qué condiciones trabaja el equipo, con el fin de realizar una mejor programación de las actividades para la implementación.
7. Se resolvió las 7 preguntas básicas del RCM: Para la aplicación en el grupo electrógeno se empezó resolvió las 7 preguntas básicas del RCM: ¿Cuáles son las funciones?, ¿De qué forma falla?, ¿Qué causa la falla?, ¿Qué sucede cuando hay falla?, ¿Qué ocurre si falla?, ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir las fallas?, ¿Qué sucede si no puede predecirse o prevenirse las fallas?
8. Fases para cada uno de los sistemas o elementos que componen las extrusoras hidráulicas: Los pasos que se determinaron para la implementación de la metodología fue en base a las fases que nos brinda el RCM.

Fase 0: listado y codificación de equipos

Fase 1: listado de funciones y especificaciones

Fase 2: determinaciones de fallos funcionales y técnicos

Fase 3: determinación de los modos de fallo

Fase 4: análisis de la gravedad de los fallos. (Efectos de falla)

Fase 5: determinación de medidas preventivas

Fase 6: obtención del plan de mantenimiento

Fase 7: puesta en marcha de las medidas preventivas obtenidas.

9. Cumplimiento de los objetivos propuestos: Al haber desarrollado todos los procedimientos anteriores, se logró cumplir con los objetivos de la investigación, como:
  - Mejorar la disponibilidad y los tiempos de reparación
  - Reducir el número de fallas
  - Mejorar los costos de mantenimiento.

## CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

### 4.1. Información antes de la implementación de la metodología RCM.

La experiencia profesional se realizó en la empresa: Italsolder S.A.C, en el año 2014 empiezo a brindar mis servicios a la empresa Italsolder s.a.c como técnico de mantenimiento, para luego retornar como consultor de mantenimiento y líder del RCM; durante el periodo de enero 2017 a la actualidad.

### 4.2. Área donde se realizó la experiencia profesional

El área donde se realizó la experiencia profesional es: Mantenimiento; esta área solo realizaba trabajos correctivos, las extrusoras hidráulicas analizadas no contaban con un mantenimiento preventivo, es por ello que se propuso a la empresa y al área de mantenimiento, implementar la metodología RCM, para incrementar la disponibilidad, mejorar los tiempos de reparación, reducir las fallas y mejorar los costos de mantenimiento de las extrusoras hidráulicas, ya que estos activos son los más críticos para la empresa.

### 4.3. Recolección de información.

Tabla 2

Equipo profesional que realizó la implementación del RCM.

Equipo Profesional	
Integrantes	Función
Líder de la implementación del RCM	Capacitaciones sobre el RCM/Elaboración del AMEF
Jefe de mantenimiento	Verificar la ejecución del RCM/Levantamiento de información sobre el AMEF
Técnico mecánico - eléctrico	Encargado de ejecutar la correcta aplicación del plan de mantenimiento preventivo/Levantamiento de información sobre el AMEF
Auxiliar de mantenimiento	Monitorear el constante funcionamiento de los activos/Levantamiento de información sobre el AMEF

*Nota:* se detalla la función de cada integrante en la elaboración del RCM

#### 4.4. Proceso de la actividad profesional del investigador

El investigador realizó las siguientes actividades, según se describe a continuación:

Tabla 3

*Equipo profesional que realizó la implementación del RCM.*

Actividades realizadas según la Metodología	
Ítem	Actividades
1	Diagnóstico inicial
2	Recolección de información
3	Revisión y análisis de la información
4	Selección del equipo de trabajo RCM
5	Entrenamiento y Capacitación
6	Se determinó el contexto operacional
7	Se resolvió las 7 preguntas básicas del RCM
8	Fases para la implementación del RCM

*Nota:* se detalla la función de cada integrante en la elaboración del RCM

#### 4.5. Diagnóstico inicial

##### 4.5.1 Análisis de la disponibilidad actual de las extrusoras hidráulicas

Se procedió analizar los reportes de falla que presento el grupo electrógeno en los años 2016, 2017 y 2018, los cuales se utilizaron para poder calcular la disponibilidad, el MTBF y el MTTR de las extrusoras. En la tabla 1, podemos observar un resumen de los reportes de falla de los tres años mencionados, para mayor información de los reportes de fallas ver tabla completa en el Anexo 3.

Luego en la tabla 5 y tabla 7, podemos observar lo siguiente:

- N° F: Número de fallas.
- TOP: Tiempo de operación.
- TRE: Tiempo en reparar.
- MTBF: Tiempo de trabajo/ Número de fallas.
- MTTR: Tiempo en reparar/Número de fallas.
- D: Disponibilidad

Tabla 4

*Resumen de reporte de fallas de los años 2016, 2017 y 2018 en la extrusora LP250 – II.*

<b>Extrusora Hidráulica LP250 - II</b>				
DÍA-MES- AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
12/02/2016	Bomba de aceite en mal estado	343	231	65
15/03/2016	Instalación incorrecta de algún componente	130	120	15
25/03/2016	Desgaste de piezas	120	110	26
21/06/2016	Suciedad en el líquido hidráulico	171	130	15
12/07/2016	Atascamiento en los filtros	142	132	15
17/07/2016	Termostato en mal estado	130	120	12
14/08/2016	Vibración	98	87	15
7/04/2017	Termostato en mal estado	60	65	16
8/04/2017	Tuberías en estado de corrosión	150	154	10
9/04/2017	Bomba de aceite en mal estado	40	20	45
10/04/2017	Empaquetadura de la bomba en mal estado	79	81	28
23/04/2017	Filtro de succión en mal estado	75	75	12
8/05/2017	Termostato en mal estado	87	89	27
16/05/2017	Bomba de aceite en mal estado	67	64	35
10/06/2017	Resistencia de temperatura dañada	150	145	15
21/06/2017	Termocupla en mal estado	90	87	13
12/07/2017	Relé térmico en mal estado	130	119	14
28/05/2018	Altos niveles de presión	140	135	4
11/05/2018	Termostato en mal estado	130	125	10
5/06/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	135	45
21/06/2018	Cilindro hidráulico con desplazamiento lento	110	100	23
13/07/2018	Tuberías en estado de corrosión	450	321	10
4/08/2018	Suciedad en el líquido hidráulico	120	98	31
25/08/2018	Vibración	45	40	14
16/09/2018	Conexiones eléctricas dañadas	210	455	15
27/09/2018	Válvula 4/3 en mal estado	310	213	13
8/10/2018	Filtro de succión en mal estado	55	60	10
29/10/2018	Empaquetadura de la bomba en mal estado	94	100	15

*Nota:* se detalla los reportes de los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente para realizar el cálculo de

los indicadores de mantenimiento.

#### 4.5.1.1 Análisis de la disponibilidad de la extrusora LP250 – 1I.

Tabla 5

*Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 1I*

Extrusora Hidráulica LP250 - 1I						
Año	N° F	TOP	TRE	MTBF	MTTR	D
2016	13	2279	331	175.3	25.5	87.3%
2017	22	1914	456	87.0	20.7	80.8%
2018	17	2715	269	159.7	15.8	91.0%
Promedio				140.7	20.7	86.4%

*Nota:* se detalla la disponibilidad de los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente.

La disponibilidad anual de la tabla 5 se obtuvo de la siguiente manera:

#### **Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – 1I del año 2016**

- N° F: 13
- TOP: 2279 horas
- TRE: 331 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{2279}{13} = 175.3$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{331}{13} = 25.5$$

Disponibilidad del año 2016:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{175.3}{175.3 + 25.5} = 87.3\%$$

### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – II del año 2017

- N° F: 22
- TOP: 1914 horas
- TRE: 456 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{1914}{22} = 87$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de reparación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{456}{22} = 20.7$$

Disponibilidad del año 2017:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{87}{87 + 20.7} = 80.8\%$$

### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – II del año 2018

- N° F: 17
- TOP: 2715 horas
- TRE: 269 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{2715}{17} = 159.7$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de reparación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{269}{17} = 15.8$$

Disponibilidad del año 2018:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{159.7}{159.7 + 15.8} = 91\%$$

En la tabla 6, podemos observar un resumen de los reportes de falla de los años 2016, 2017 y 2018, para mayor información de los reportes de fallas ver tabla completa en el Anexo 3.

Tabla 6

*Resumen de reporte de fallas de los años 2016, 2017 y 2018 en la extrusora LP250 – 2I.*

<b>Extrusora Hidráulica LP250 - 2I</b>				
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
15/03/2016	Bomba de aceite en mal estado	45	25	10
25/03/2016	Pérdida de aceite en la bomba	56	55	10
21/06/2016	Termostato en mal estado	130	120	12
12/07/2016	Tuberías en estado de corrosión	110	115	12
17/07/2016	Válvula 4/3 en mal estado	270	265	35
8/05/2017	Resistencias eléctricas dañadas	64	59	9
12/07/2017	Bomba de aceite en mal estado	45	40	14
17/07/2017	Válvula 4/3 en mal estado	96	94	11
14/08/2017	Altos niveles de presión	98	105	13
8/09/2017	Relé térmico en mal estado	130	119	14
23/09/2017	Termostato en mal estado	60	65	16
13/10/2017	Bomba de aceite en mal estado	69	65	15
25/11/2017	Interruptor de límite ER 41 en mal estado.	76	73	12
11/01/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	89	10
22/01/2018	Pérdida de aceite en la bomba	50	50	8
13/02/2018	Termostato en mal estado	60	65	16
24/02/2018	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	130	132	6
15/03/2018	Sellos hidráulicos del cilindro	210	119	16
29/03/2018	Válvula 4/3 en mal estado	145	132	23
28/05/2018	Altos niveles de presión	45	45	4
4/08/2018	Resistencias eléctricas dañadas	67	76	8
25/08/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	135	45
16/09/2018	Conexiones eléctricas dañadas	450	430	10
27/09/2018	Válvula 4/3 en mal estado	310	213	13
8/10/2018	Filtro de succión en mal estado	60	55	3
29/10/2018	Bomba de aceite en mal estado	79	81	8

*Nota:* se detalla los reportes de los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente para realizar el cálculo de

los indicadores de mantenimiento

#### 4.5.1.2 Análisis de la disponibilidad de la extrusora LP250 – 2I.

Tabla 7

*Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 2I*

Extrusora Hidráulica LP250 - 2I						
Año	N° F	TOP	TRE	MTBF	MTTR	D
2016	11	1448	209	131.6	19.0	87.4%
2017	19	1465	247	77.1	13.0	85.6%
2018	15	2004	193	133.6	12.9	91.2%
Promedio				114.1	15.0	88.4%

*Nota:* se detalla la disponibilidad de los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente.

La disponibilidad de la tabla 7 se obtuvo de la siguiente manera:

#### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – 2I del año 2016

- N° F: 11
- TOP: 1448 horas
- TRE: 209 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{1448}{11} = 131.6$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{209}{11} = 19$$

Disponibilidad del año 2016:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{131.6}{131.6 + 19} = 87.4\%$$

### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – 2I del año 2017

- N° F: 19
- TOP: 1465 horas
- TRE: 247 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{1465}{19} = 77.1$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de reparación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{247}{19} = 13$$

Disponibilidad del año 2017:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{77.1}{77.1 + 13} = 85.6\%$$

### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – 2I del año 2018

- N° F: 15
- TOP: 2004 horas
- TRE: 193 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de operación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{2004}{15} = 133.6$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de reparación}}{\textit{Número de fallas}} = \frac{193}{15} = 12.9$$

Disponibilidad del año 2018:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{133.6}{133.6 + 12.9} = 91.2\%$$

#### 4.5.2 Cálculo de la Falla con mayor frecuencia en las extrusoras hidráulicas.

Se hizo uso del principio de Pareto para determinar la falla con mayor frecuencia en cada extrusora hidráulica.

Tabla 8

Frecuencia de fallas en la extrusora hidráulica LP250 – 1I

Extrusora Hidráulica LP250 - 1I			
Componente de Falla	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia acumulada %
Bomba de aceita	10	10	36%
Termostato	6	16	57%
Válvula 4/3	4	20	71%
Filtro de aceite	3	23	82%
Interruptor de límite	3	26	93%
Válvula Solenoide	2	28	100%

*Nota:* se detalla la frecuencia de falla para la extrusora hidráulica LP250 – 1I (Fuente: propia)

En la figura 24, Diagrama de Pareto de la extrusora hidráulica LP250 – 1I se detalla los componentes con mayor incidencia de falla en esta extrusora hidráulica, como la bomba de aceite y el termostato, las cuales pertenecen al sistema de bombeo y calefacción respectivamente.

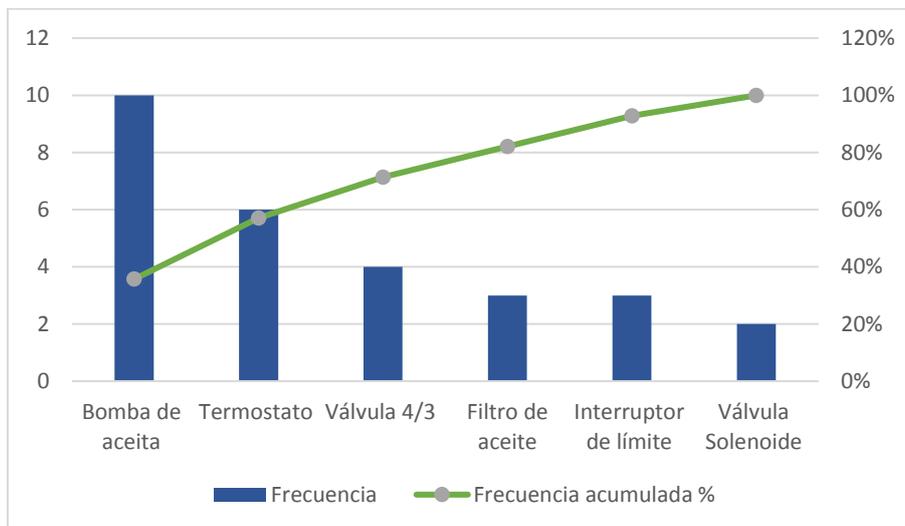


Figura 24. Diagrama de Pareto extrusora hidráulica LP250 – 1I.

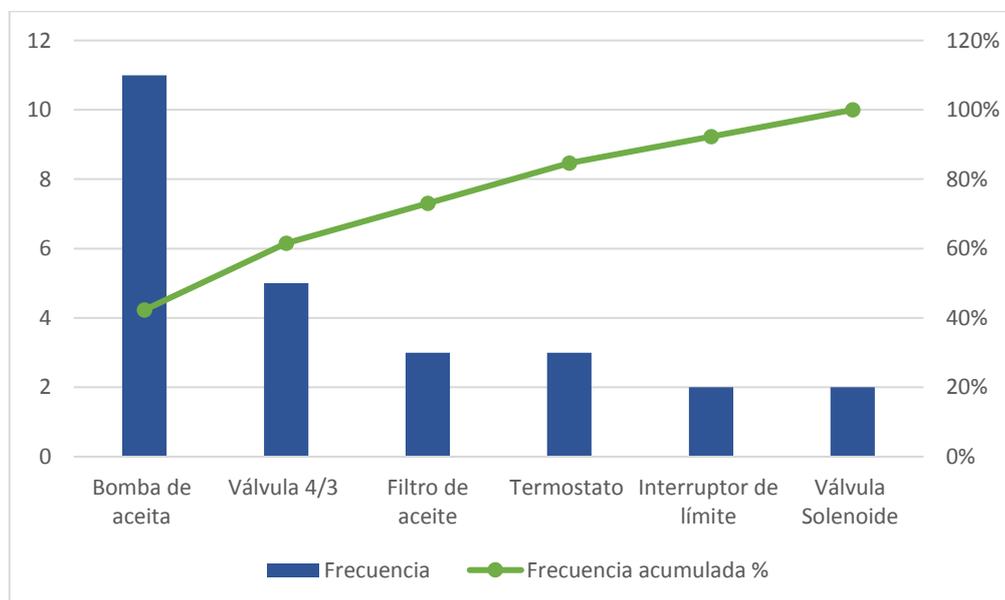
Tabla 9

*Frecuencia de fallas en la extrusora hidráulica LP250 – 2I.*

Extrusora Hidráulica LP250 - 2I			
Componente de Falla	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia acumulada %
Bomba de aceita	11	11	42%
Válvula 4/3	5	16	62%
Filtro de aceite	3	19	73%
Termostato	3	22	85%
Interruptor de límite	2	24	92%
Válvula Solenoide	2	26	100%

*Nota:* se detalla la frecuencia de falla para la extrusora hidráulica LP250 – 2I (Fuente: propia)

En la figura 25, Diagrama de Pareto de la extrusora hidráulica LP250 – 2I se detalla los componentes con mayor incidencia de falla en esta la extrusora hidráulica, como la bomba de aceite y la válvula 4/3, las cuales pertenecen al sistema de bombeo y pilotaje.



*Figura 25.* Diagrama de Pareto extrusora hidráulica LP250 – 2I.

#### 4.6 Recolección de información.

Luego de haber realizado el diagnóstico inicial de los activos críticos, se procedió a la recolección de información sobre:

1. Criticidad de los equipos.
2. Reporte de fallas – (Número de fallas - Tiempo de reparación)
3. Costos de mantenimiento de los equipos
4. Ficha técnica de los equipos.
5. Personal de mantenimiento.
6. Manual de mantenimiento de los equipos.

#### 4.7 Revisión y análisis de la información.

##### 4.7.1 Criticidad de los equipos:

La revisión del análisis de criticidad sirvió para tener una mejor perspectiva de la importancia de las extrusoras hidráulicas, ya que al tener un valor de 168 dentro de la escala de referencia nos indica que es un activo altamente crítico para la empresa Italsolder s.a.c., tal como nos muestra la tabla 10. Para mayor información sobre el análisis de criticidad ver tabla completa en el Anexo 4.

Tabla 10

*Criticidad de los activos de la empresa Italsolder s.a.c*

<b>Equipo</b>	<b>Criticidad</b>	<b>Estado</b>
Horno de Fundición	45	C
Grupo electrógeno	58	C
Compresor	58	C
<b>Extrusora hidráulica de soldadura</b>	168	C
Cortadora de soldadura	87	C
Bobinadora	116	C
Trefiladora de alambre de soldadura	75	C

*Nota:* se detalla la criticidad de cada activo físico que produce Soldadura blanda.

#### 4.7.2 Reporte de fallas – (Número de fallas - Tiempo de reparación):

La revisión y análisis de los reportes de falla que presentaron las extrusoras hidráulicas en los años 2016, 2017 y 2018 nos sirvieron para poder calcular la disponibilidad actual antes de la implementación del RCM tal como se observó en el capítulo 3.2 diagnóstico inicial.

Para mayor información de los reportes de fallas ver Anexo 3.

#### 4.7.3 Reporte y análisis de costos de mantenimiento de los equipos:

El reporte brindado por el área de mantenimiento se refiere en su mayoría a los costos directos de mantenimiento como mano de obra, repuestos y el contrato de un tercero para mantenimientos programado. A continuación se detalla la información brindada y posterior a ello el análisis de costos de cada extrusora hidráulica de la empresa Italsolder S.A.C.

##### 4.7.3.1 Reporte y análisis de costos de mantenimiento de la extrusora LP250-1I.

Tabla 11

*Costo de intervención de mantenimiento*

Descripción	Costo
Repuesto debido a una reparación imprevista	300
Reparaciones imprevistas x hora	6
Inspecciones no programadas x hora	6
Mantenimiento programado x hora	3
Downtime (Lucro cesante)	1100

*Nota:* se detalla el costo por cada intervención por mantenimiento

En la tabla 12, podemos observar el reporte en horas de todo el año 2018 relacionadas con la reparación por falla imprevista, la inspección no programada y mantenimiento programado donde se incluye los costos de mantenimiento por cada actividad.

Tabla 12

*Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -II*

Reporte en horas de la extrusora hidráulica LP250 – II. AÑO 2018													
Horas de Manto	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista	1	2	0	1	1	0	2	1	0	0	0	2	10
Duración total (Horas)	6	4	0	3	5	0	6	5	0	0	0	8	37
Inspección no programada a pedido de operario	0	2	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	6
Duración total (Horas)	0	2	1.5	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0	5
Mantenimiento programado	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
Duración total (Horas)	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	9
<b>Horas de Downtime</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>0.5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>42</b>

*Nota:* se detalla el reporte en horas según la actividad de mantenimiento que se realizó.

En la tabla 13, podemos observar el análisis que se desarrolló frente a los reportes de los costos de mantenimiento de la extrusora hidráulica LP250 – II. Se pudo analizar que debido a los continuos mantenimientos correctivos y demás actividades se tuvo un costo anual de \$50 4850.

Tabla 13

*Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -II*

Análisis de costos de la extrusora hidráulica LP250 – II. AÑO 2018													
Costos	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista MR	436	824	0	418	430	0	836	430	0	0	0	848	4222
Inspección no programada a solicitud de operario	0	12	9	0	0	3	0	0	0	12	0	0	36
Mantenimiento programado	0	0	9	0	0	0	9	0	0	0	9	0	27
Lucro Cesante	6600	6600	1650	3300	5500	550	6600	5500	0	1100	0	8800	46200
<b>TOTAL</b>	<b>7036</b>	<b>7436</b>	<b>1668</b>	<b>3718</b>	<b>5930</b>	<b>553</b>	<b>7445</b>	<b>5930</b>	<b>0</b>	<b>1112</b>	<b>9</b>	<b>9648</b>	<b>50485</b>

*Nota:* se detalla el análisis de costos de cada mes del año 2018

#### 4.7.3.2 Reporte y análisis de costos de mantenimiento de la extrusora LP250-2I.

Tabla 14

*Costo de intervención de mantenimiento*

Descripción	Costo
Repuesto debido a una reparación imprevista	400
Reparaciones imprevistas x hora	6
Inspecciones no programadas x hora	6
Mantenimiento programado x hora	3
Downtime (Lucro cesante)	1100

*Nota:* se detalla el costo por cada intervención por mantenimiento

En la tabla 15, podemos observar el reporte en horas de todo el año 2018 relacionadas con la reparación por falla imprevista, la inspección no programada y mantenimiento programado donde se incluye los costos de mantenimiento por cada actividad.

Tabla 15

*Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I*

Reporte en horas de la extrusora hidráulica LP250 – 2I. AÑO 2018													
Horas de Manto	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista	0	2	1	0	1	0	0	1	0	2	0	2	9
Duración total (Horas)	0	4	3	0	5	0	0	5	0	6	0	8	31
Inspección no programada a pedido de operario	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	4
Duración total (Horas)	0	1.5	1.5	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	6
Mantenimiento programado	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6
Duración total (Horas)	3	0	2	0	3	0	2	0	2	0	2	0	14
<b>Horas de Downtime</b>	<b>0</b>	<b>5.5</b>	<b>4.5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1.5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>7.5</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>37</b>

*Nota:* se detalla el reporte en horas según la actividad de mantenimiento que se realizó.

En la tabla 16, podemos observar el análisis que se desarrolló frente a los reportes de los costos de mantenimiento de la extrusora hidráulica LP250 – 2I, se pudo analizar que debido a los continuos mantenimientos correctivos y demás actividades se tuvo un costo anual de \$43 664.

Tabla 16

*Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I*

Análisis de costos de la extrusora hidráulica LP250 – 2I. AÑO 2018													
Costos	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista MR	0	624	318	0	330	0	0	330	0	636	0	648	2886
Inspección no programada a solicitud de operario	0	9	9	0	0	9	0	0	0	9	0	0	36
Mantenimiento programado	9	0	6	0	9	0	6	0	6	0	6	0	42
Lucro Cesante	0	6050	4950	0	5500	1650	0	5500	0	8250	0	8800	40700
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>6683</b>	<b>5283</b>	<b>0</b>	<b>5839</b>	<b>1659</b>	<b>6</b>	<b>5830</b>	<b>6</b>	<b>8895</b>	<b>6</b>	<b>9448</b>	<b>43664</b>

*Nota:* se detalla el análisis de costos de cada mes del año 2018

#### 4.7.4 Ficha técnica de los equipos:

La ficha técnica nos brinda datos importantes en la evaluación de las extrusoras hidráulicas.

Para mayor información ver el Anexo 5, donde se podrá tener mayor detalle de:

- El código del activo.
- La ubicación del activo, lugar que nos permite analizar el actual contexto operacional, y además poder realizar un estudio minucioso sobre cada sistema de las extrusoras.
- Potencia.
- Voltaje.

#### **4.7.5 Personal de mantenimiento:**

El personal de mantenimiento fue pieza clave para la obtención de todos los documentos que se utilizaron como referencia en la investigación, como los manuales de mantenimiento, los reportes de fallas, entre otros.

#### **4.7.6 Manual de mantenimiento de los equipos:**

La revisión del manual de mantenimiento nos sirve para identificar las horas de mantenimiento que se le debe aplicar a cada sistema, las cuales son detalladas en las fases de implementación del RCM. Este manual también nos brinda acotaciones como por ejemplo, el torque que se tiene que dar a los elementos roscados en el sistema de una extrusora hidráulica, ya que muchas veces después de un análisis de falla, la causa raíz fue un perno mal ajustado. Para mayor información del manual del equipo ver Anexo 6.

#### **4.8. Selección del equipo de trabajo RCM**

Grupo revisión, se integró el equipo natural de trabajo con los siguientes colaboradores:

**Gerente General:** Encargado de autorizar la implementación de la metodología RCM.

**Líder de la implementación del RCM:** Encargado de realizar la metodología RCM con ayuda del personal de mantenimiento y generar el plan de mantenimiento preventivo, asegurando que:

- Que la implementación se lleve a cabo a un nivel correcto, a través de las capacitaciones sobre la metodología del RCM. De manera que el proceso sea claramente sustentado y aplicado por los miembros del grupo.

**Jefe de mantenimiento:** encargado de verificar la ejecución de la metodología RCM, responsable del seguimiento de la implementación del nuevo plan de mantenimiento para las extrusoras hidráulicas.

**Técnico mecánico-eléctrico:** Encargado de ejecutar la correcta aplicación del plan de mantenimiento preventivo, como el monitoreo constante de los activos, las tareas del mantenimiento, la lista de repuestos, materiales e insumos a utilizar en cada trabajo y además de llevar los controles de las extrusoras.

**Auxiliar de mantenimiento:** Encargado de monitorear el constante funcionamiento y control de las extrusoras hidráulicas.

#### **4.9. Entrenamiento y capacitación**

La empresa a través de su Departamento de Recursos Humanos estableció capacitaciones del personal de mantenimiento sobre la metodología RCM en su proceso de implementación. A continuación, se detallan los registros que conforman el plan de capacitaciones, ver anexo 7:

- Introducción a la metodología RCM.
- Procedimiento para el levantamiento de información de las extrusoras hidráulicas.
- Análisis del modo y efecto de fallas.
- Elaboración del plan de mantenimiento y demás registros.

#### **4.10. Se determinó el contexto operacional de las extrusoras hidráulicas**

Las extrusoras hidráulicas están ubicadas en la planta de la empresa Italsolder S.A.C en Lima-Perú, la cual tiene una capacidad de presión máxima de trabajo de 250 toneladas. Estos activos garantiza la producción de soldadura blanda las 24 horas al día.

##### **4.10.1. Estándares de calidad:**

Si comparamos el análisis de falla de un equipo igual al nuestro, el resultado será distinto, ya que al efectuar un mantenimiento y haber realizado cambios de componentes, no tenemos la certeza si se utilizó un remplazo genuino o no genuino. Es por ello que se comenzó a trabajar bajo mantenimientos de calidad por parte del personal de mantenimiento ya capacitado.

#### **4.10.2. Estándares de medio ambientales:**

Dentro los estándares ambientales los desechos tóxicos como los cambios de aceite o la contaminación de humo que emana la extrucción son controlados por:

- Una empresa encargada de reciclar aceite y extractor de humos.

#### **4.10.3. Riesgo de seguridad:**

Para cada reporte, reparación o corrección de problemas, se cumple con un procedimiento de seguridad. Al ingresar a planta donde se encuentra las extrusoras hidráulicas se solicita ingresar con los equipos de protección personal, como:

- Botas de seguridad, casco de seguridad y gafas de seguridad.

#### **4.11. Se resolvió las 7 preguntas básicas del RCM.**

Para la aplicación del RCM en las extrusoras hidráulicas se empezó resolviendo las 7 preguntas básicas.

##### **1. ¿Cuáles son las funciones? (funciones y criterios de funcionamiento).**

La función de las extrusoras hidráulicas es garantizar la producción de alambres de soldadura de 250 toneladas de presión de buena calidad como:

- Alambres sólidos.
- Perfiles huecos.
- Forros de plomo
- Aleaciones de plomo, estaño.

##### **2. ¿De qué forma falla? (fallas funcionales).**

La manera en que puede fallar las extrusoras hidráulicas es no producir soldadura blanda en el momento que se requiere. Según los reportes de fallas del año 2016, 2017 y 2018 describe fallas mecánicas y eléctricas, como por ejemplo, sistema de bombeo y calefacción, los cuales se presentan por la falta de mantenimiento. Para ver a detalle las fallas que presenta el activo revisar fase2 del RCM.

### **3. ¿Qué causa la falla? (modos de fallas).**

Los modos de falla o las causas de las fallas funcionales que se da en las extrusoras hidráulicas se detallan en las etapas de implementación del RCM, las cuales se pueden observar más adelante en la fase3 de los pasos para determinar el RCM.

### **4. ¿Qué sucede cuando hay falla? (efectos de los fallas).**

Cuando ocurre una falla en la extrusora hidráulica ocasiona problemas como:

- Daños en los componentes.
- Disminuye el tiempo de vida del activo.
- Incapacidad de realizar las actividades para la cual fue adquirida.

### **5. ¿Qué ocurre si falla? (consecuencia de las fallas).**

Las consecuencias de las fallas pueden ser:

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales y no operacionales.

### **6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir las fallas? (tareas predictivas/preventivas).**

Esta implementación busca mejorar la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas a través de los análisis de fallas mecánicas y eléctricas, del AMEF y la toma de decisiones que se detallan más adelante. Por lo cual se obtienen una serie de tareas preventivas, las cuales ayudaran a elaborar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

### **7. ¿Qué sucede si no puede predecirse o prevenirse las fallas? (tareas a “falta de”).**

Si no se puede predecir o prevenir la falla, el equipo fallará y tendrá consecuencias, como: malestar de los clientes, paradas de máquinas en funcionamiento, pérdidas de producción, problemas administrativos, entre otros.

## 4.12. Fases para la implementación del RCM

### 4.12.1. Fase 0:

Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el equipo que se está estudiando.

Tabla 17

*Codificación de los equipos de planta de la empresa Italsolder S.A.C.*

<b>Equipos de planta</b>	<b>Codificación</b>
Horno de Fundición	HF500-1
Grupo electrógeno	GE-001
Compresor	CP-340
<b>Extrusora hidráulica</b>	LP250 – 1I
<b>Extrusora hidráulica</b>	LP250 – 2I
Cortadora de soldadura	CT140-1
Bobinadora	BS200-1
Trefiladora de alambre de soldadura	TS240-1

*Nota:* se detalla los códigos de cada equipo de planta

Tabla 18

*Codificación de sistemas y subsistemas de las extrusoras hidráulicas.*

<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>SUBSISTEMA</b>
Extrusora hidráulica	Hidráulico	Sistema de bombeo y pilotaje
		Sistema de Enfriamiento del aceite hidráulico
	Eléctrico	Sistema de Calefacción
		Tablero de control

*Nota:* se detalla el equipo con su sistema y subsistema

#### 4.12.2. Fase 1:

Estudio detallado del funcionamiento del equipo. Listado de funciones de los sistemas y subsistemas.

Tabla 19

*Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas*

		FUNCIÓN
<b>SISTEMA:</b>	Extrusora Hidráulica	1 La función de la Extrusora hidráulica es abastecer de soldadura blanda las 24 horas del día.
<b>SISTEMA:</b>	Hidráulico	1 La función del sistema hidráulico es generar la fuerza necesaria para la extrusión de soldadura blanda las 24 horas del día.
<b>SUB-SISTEMA:</b>	Sistema de bombeo y pilotaje	1 Enviar caudal de 17.4 Lts./min 2 Desplazamiento de mecanismos
<b>SUB-SISTEMA:</b>	Sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico	1 Conservar el aceite hidráulico a una temperatura entre los 30 y 40°C 2 Bombear aceite a través del enfriador.
<b>SISTEMA:</b>	Eléctrico	1 La función del sistema eléctrico es abastecer de energía eléctrica a la extrusora hidráulica las 24 horas del día.
<b>SUB-SISTEMA:</b>	Sistema de calefacción	1 Conservar la extrusión a una temperatura entre los 110 y 130°C 2 Tener un pre-calefacción de un tiempo aprox. 1.1/2 horas.
<b>SUB-SISTEMA:</b>	Control eléctrico	1 Generar energía eléctrica al sistema de extrusión. 2 Desplazamiento de mecanismos.

*Nota: se detalla las funciones de la extrusora hidráulica y sus sub-sistemas*

### 4.12.3. Fase 2: Determinación de los fallos funcionales

Tabla 20

*Listado de fallas funciones de los sub-sistemas*

		<b>SISTEMA:</b>	<b>EXTRUSORA HIDRÁULICA</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	La función de la Extrusora hidráulica es abastecer de soldadura blanda las 24 horas del día.	1	Incapaz de abastecer de soldadura blanda las 24 horas del día.
		<b>SISTEMA:</b>	<b>HIDRÁULICO</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	La función del sistema hidráulico es generar la fuerza necesaria para la extrusión de soldadura blanda las 24 horas del día.	1	Incapaz de generar la fuerza necesaria para la extrusión de soldadura blanda las 24 horas del día.
		<b>SUB-SISTEMA:</b>	<b>Sistema de bombeo y pilotaje</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	Enviar caudal de 17.4 Lts./min	1	Incapaz de suministrar fuerza
2	Desplazamiento de mecanismos	1	El cilindro hidráulico se desplaza muy lento
		2	Ruido excesivo de la Bomba
		<b>SUB-SISTEMA:</b>	<b>Sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	Conservar el aceite hidráulico a una temperatura entre los 30 y 40°C	1	La temperatura del líquido refrigerante se encuentra por debajo de los 30°C
		2	La temperatura del líquido refrigerante se encuentra por encima de los 40°C.
2	Bompear aceite a través del enfriador.	1	No bombea nada de aceite hacia el enfriador.
		2	Bombeea aceite de manera deficiente hacia el enfriador.
		<b>SISTEMA:</b>	<b>ELÉCTRICO</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	La función del sistema eléctrico es abastecer de energía eléctrica a la extrusora hidráulica las 24 horas del día	1	Incapaz de abastecer de energía eléctrica a la extrusora hidráulica las 24 horas del día.
		<b>SUB-SISTEMA:</b>	<b>Sistema de calefacción</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	Conservar la extrusión a una temperatura entre los 110 y 130°C	1	La temperatura de extrusión se encuentra por debajo de los 110°C
		2	La temperatura de extrusión se encuentra por encima de los 130°C.
2	Tener un pre-calefacción de un tiempo aprox. 1.1/2 horas.	1	La temperatura de extrusión se encuentra sin pre-calefacción.
		<b>SUB-SISTEMA:</b>	<b>Control eléctrico</b>
<b>N°</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>N°</b>	<b>FALLA FUNCIONAL</b>
1	Transferir y abastecer el combustible para realizar la combustión	1	No abastece nada de combustible.
		2	Abastece de combustible de una manera deficiente.
2	Bompear combustible a una presión normal de 40 a 60 PSI, con una máxima presión de 95 PSI.	1	No bombea nada de combustible
		2	Bombeea combustible a una presión por debajo de los 40 PSI.
		3	Bombeea combustible a una presión por encima de los 95 PSI

*Nota: se detalla las fallas funcionales de los sub-sistemas*

#### 4.12.4. Fase 3:

Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Tabla 21

#### Listado de modos de falla de los sub-sistemas

		SISTEMA:		EXTRUSORA HIDRÁULICA	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	La función de la Extrusora hidráulica es abastecer de soldadura blanda las 24 horas del día.	1	Incapaz abastecer de soldadura blanda las 24 horas del día.	1	Problemas en sistema hidráulico y eléctrico.
		SISTEMA:		SISTEMA HIDRÁULICO	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	La función del sistema hidráulico es generar la fuerza necesaria para la extrusión de soldadura blanda las 24 horas del día.	1	Incapaz de generar la fuerza necesaria para la extrusión de soldadura blanda las 24 horas del día.	1	Problemas en sistema hidráulico.
		SISTEMA:		SISTEMA HIDRÁULICO	
		SUB-SISTEMA:		Sistema de bombeo y pilotaje	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	Enviar caudal de 17.4 Lts./min	1	Incapaz de suministrar fuerza	1	Perdida de presión lenta o repentina desde la bomba.
				2	Válvulas 4/3 en mal estado
				3	Fuga en los sellos hidráulicos del cilindro.
2	Desplazamiento de mecanismos	1	El cilindro hidráulico se desplaza muy lento	1	Perdida de fluido por fisuras en el cilindro del pistón.
		2	Ruido excesivo de la Bomba	2	Poco caudal enviado de la bomba
				1	Desgaste de los sellos de lubricación de la bomba.
				2	Filtro de succión en mal estado
				3	Mangueras de succión porosa.
				4	Bajo nivel de aceite en la bomba
		SISTEMA:		SISTEMA HIDRÁULICO	
		SUB-SISTEMA:		Sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	Conservar el aceite hidráulico a una temperatura entre los 30 y 40°C.	1	La temperatura del líquido refrigerante se encuentra por debajo de los 30°C	1	Termostato en mal estado.
		2	La temperatura del líquido refrigerante se encuentra por encima	1	Nivel del agua está por debajo de lo
				2	Válvula solenoide en mal estado.
				3	Termostato bloqueado, sin apertura.
				4	Tuberías en estado de corrosión
				5	Mínimo recorrido del agua
2	Bompear aceite a través del enfriador.	1	No bombea nada de aceite hacia el enfriador	1	Transmisión nula del eje de la bomba.
				2	Rozamiento y rotura entre las partes giratorias y estáticas.
		2	Bombea aceite de manera deficiente hacia el enfriador	1	Cavitación en el sistema.
				2	Empaquetadura de la bomba en mal estado.
				3	Elementos no genuino usados en el sistema de bombeo
				4	Conexiones dañadas.

Tabla 21

*Listado de modos de falla de los sub-sistemas (Continuación)*

		SISTEMA:		SISTEMA ELÉCTRICO	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	La función del sistema eléctrico es abastecer de energía eléctrica a la extrusora hidráulica las 24 horas del día.	1	Incapaz de abastecer de energía eléctrica a la extrusora hidráulica las 24 horas del día.	1	Problemas en sistema eléctrico.
		SISTEMA: SUB-SISTEMA:		SISTEMA ELÉCTRICO Sistema de Calefacción	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	Conservar la extrusión a una temperatura entre los 110 y 130°C	1	La temperatura de extrusión se encuentra por debajo de los 110°C	1	Termostato en mal estado.
		2	La temperatura de extrusión se encuentra por encima de los 130°C.	1	Mal ajuste en el receptáculo.
				2	Mal ajuste en el utensilio.
				3	Termostato bloqueado.
				4	Conexiones eléctricas dañadas.
				5	Instalación inadecuada del termostato.
2	Tener un pre-calefacción de un tiempo aprox. 1.1/2 horas.	1	La temperatura de extrusión se encuentra sin pre-calefacción.	1	Conexiones eléctricas dañadas.
				2	Mala operación del operador
				3	Resistencias de temperatura dañadas.
				4	Termocupla en mal estado.
				5	Cronometro en mal estado.
		SISTEMA: SUB-SISTEMA:		SISTEMA ELÉCTRICO Control eléctrico	
N°	FUNCIÓN	N°	FALLA FUNCIONAL	N°	MODOS DE FALLA (Causa de las fallas)
1	Generar energía eléctrica al sistema de extrusión.	1	No abastece de energía eléctrica al sistema de extrusión	1	Fluido eléctrico general fuera de servicio.
		2	Abastece energía eléctrica de una manera deficiente.	2	Interruptor general en mal estado.
				1	Contactos eléctricos en mal estado
				2	Conexiones eléctricas dañadas.
				3	Relé térmico en mal estado
				4	Resistencias eléctricas dañadas.
2	Desplazamiento de mecanismos	1	No hay carrera de avance del pistón.	1	Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L), en mal estado.
				2	Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso
				3	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.
		2	No hay carrera de regreso del pistón.	1	Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L), en mal estado.
				2	Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso
				3	Interruptor de límite En 41 en mal estado.
		3	Desplazamiento Inseguro, con presión excesiva.	1	Válvula de seguridad MVR 28 A, en mal estado.
				2	Interruptor de límite ER 41 en mal estado.

*Nota:* se detalla modos de falla de los sus sub-sistemas (Fuente: propia)

#### 4.12.5. Fase 4:

Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo (Efecto de falla). En esta parte llegamos hasta las consecuencias o efectos de falla, la cual se resume en el análisis del modo y efecto de fallas (AMEF).

#### 4.12.5.1. Sistema de bombeo y pilotaje:

En la figura 26, AMEF del sub – sistema de bombeo y pilotaje, nos detalla la función, los modos de fallas, efectos de falla y el análisis del NPR, para luego tomar acciones y escoger al responsable en corregir dicha falla.

<b>Análisis de Modo y Efecto de la Falla - AMEF</b>										
SISTEMA:		Hidráulico				Preparado por:		Juan José Cubillas Pérez		Página: 1 de 1
SUB-SISTEMA:		Sistema de bombeo y pilotaje				FMEA Fecha (Orig):		6/10/2018		Rev. Mantenimiento
Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.	
¿Cuál es el proceso / actividad / producto?	¿De qué forma falla?	¿De qué maneras puede fallar el proceso / actividad / producto?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Qué también pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?		¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?	
Enviar caudal de 17.4 Lts./min	Incapaz de suministrar fuerza	Perdida de presión lenta o repentina desde la bomba.	Revisar la bomba por separado para revisar y darle mantenimiento, la máquina para y disminuye la producción.	5	5	5	125	Inspección de la lectura del manómetro.	Técnico de mecánico - eléctrico	
		Válvulas 4/3 en mal estado	El motor se para, toda la maquina es inspeccionada con un tiempo estimado de 5 horas para su diagnóstico y cambio de válvula.	8	4	8	256	Inspección y mantenimiento de la Válvula 4/3.	Técnico de mecánico - eléctrico	
		Fuga en los sellos hidráulicos del cilindro.	Se filtra aceite por las paredes de los pistones de la máquina, por lo cual la maquina no produce la cantidad adecuada, acciones a tomar, cambiar los sellos de los cilindros del pistón. Tiempo aproximado a realizar la reparación 2 horas. La maquinaria para su producción.	4	6	5	120	Inspección y mantenimiento del cilindro hidráulico.	Técnico de mecánico - eléctrico	

#### 4.12.5.1 Sistema de bombeo y pilotaje (Continuación)

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
Desplazamiento de mecanismos	El cilindro hidráulico se desplaza muy lento	Perdida de fluido por fisuras en el cilindro del pistón.	Cilindros seriamente dañados, la maquinaria para su producción, esto puede producir accidentes con la maquinaria. El cambio de los pistones de la maquinaria Tiempo aproximado 6 horas.	9	3	7	189	Inspección y mantenimiento del cilindro hidráulico.	Técnico de mecánico - eléctrico
		Poco caudal enviado de la bomba	Desgaste en los engranajes y parte de succión de la bomba. El motor para, cambiar de engranajes o de la bomba completa. Tiempo de reparación 3 horas.	5	7	8	280	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico de mecánico - eléctrico
	Ruido excesivo de la Bomba	Desgaste de los sellos de lubricación de la bomba.	La bomba produce ruidos muy altos, la producción no puede seguir porque se está dañando los componentes de la bomba, se realiza una inspección por separado, la maquinaria para su producción.	9	7	8	504	Inspeccionar la alineación de la bomba y demás componentes.	Técnico de mecánico - eléctrico
		Filtro de succión en mal estado	El motor no se para pero se detiene la operación para el cambio de un filtro nuevo. Tiempo de reparación ½ hora en una maquinaria estándar.	4	9	4	144	Inspección y mantenimiento del filtro	Técnico de mecánico - eléctrico
		Mangueras de succión porosa.	Genera vibración en el momento del trabajo en todas las mangueras del sistema hidráulico, por consiguiente para el motor, la maquinaria se detiene para ser llevado al taller, acciones a tomar será cambio de mangueras, duración de la reparación 5 horas.	8	8	2	128	Inspección y mantenimiento de mangueras hidráulicas.	Técnico de mecánico - eléctrico
		Bajo nivel de aceite en la bomba	El motor se detiene, la máquina también, se observa una disminución de aceite por lo cual se dañan los componentes de la bomba	6	3	1	18	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico de mecánico - eléctrico

Figura 26. AMEF del sistema de bombeo y pilotaje

#### 4.12.5.2. Sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico:

En la figura 27, AMEF del sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico, nos detalla la función, los modos de fallas, efectos de falla y el análisis del NPR, para luego tomar acciones y escoger al responsable en corregir dicha falla.

## Análisis de Modo y Efecto de la Falla - AMEF

SISTEMA:	Hidráulico
SUB-SISTEMA:	Sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico

Preparado por:	Juan José Cubillas Pérez	Página: 1 de 1
FMEA Fecha (Orig):	9/10/2018	Rev. Mantenimiento

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
¿Cuál es el proceso / actividad / producto?	¿De qué forma falla?	¿De qué maneras puede fallar el proceso / actividad / producto?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Qué también pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?		¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?
Conservar el aceite hidráulico a una temperatura entre los 30 y 40°C.	La temperatura del líquido refrigerante se encuentra por debajo de los 30°C	Termostato en mal estado.	La extrusora no logra tener un funcionamiento adecuado, pérdida de fuerza y aumento de la temperatura.	8	5	8	320	Inspección o remplazo de termostato	Técnico mecánico - eléctrico
	La temperatura del líquido refrigerante se encuentra por encima de los 40°C.	Nivel del agua está por debajo de lo indicado.	El refrigerante no enfría el aceite hidráulico de la extrusora adecuadamente, causando un aumento de temperatura.	6	6	5	180	Inspeccionar el nivel de refrigerante.	Técnico mecánico - eléctrico
		Válvula solenoide en mal estado.	No hay apertura del aceite hidráulico, lo que ocasiona que la temperatura del aceite se eleve, dañando el sistema hidráulico.	5	8	8	320	Inspección o remplazo de válvula Solenoide	Técnico mecánico - eléctrico
		Termostato bloqueado, sin apertura.	No hay recorrido del refrigerante ocasionando un sobrecalentamiento del aceite hidráulico	8	5	4	160	Inspección o remplazo de termostato	Técnico mecánico - eléctrico
		Tuberías en estado de corrosión	Perdida del líquido refrigerante, no hay la carga necesaria para enfriar el aceite hidráulico.	5	4	5	100	Inspección y mantenimiento de tuberías de agua.	Técnico mecánico - eléctrico
		Mínimo recorrido del agua	Desgaste o falla prematura de los elementos del sistema hidráulico.	6	4	8	192	Inspeccionar de los componentes en general.	Técnico mecánico - eléctrico

#### 4.12.5.2 Sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico (Continuación)

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
Bombear aceite a través del enfriador.	No bombea nada de aceite hacia el enfriador	Transmisión nula del eje de la bomba.	No hay circulación del aceite hacia el enfriador, causando un aumento de temperatura del sistema hidráulico.	10	5	1	50	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico mecánico - eléctrico
		Rozamiento y rotura entre las partes giratorias y estáticas.	No hay accionamiento de la bomba, por ende el aceite no llega hacia el enfriador.	8	6	2	96	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico mecánico - eléctrico
	Bombea aceite de manera deficiente hacia el enfriador	Cavitación en el sistema.	Presencia de aire debido a baja presión/alto vacío que hace que el aceite, se transforme en vapor. Causando erosión en el rodete y otras partes de la bomba.	7	5	8	280	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico mecánico - eléctrico
		Empaquetadura de la bomba en mal estado.	Obstrucción en el movimiento de la bomba, causando una caída de presión del aceite.	6	6	9	324	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico mecánico - eléctrico
		Elementos no genuino usados en el sistema de bombeo	Desgaste o falla prematura de los elementos del sistema hidráulico.	8	2	8	128	Inspección y mantenimiento de la bomba.	Técnico mecánico - eléctrico
		Conexiones dañadas.	No hay circulación del aceite, causando un aumento de temperatura del aceite hidráulico	6	5	1	30	Inspección y mantenimiento de las conexiones.	Técnico mecánico - eléctrico

Figura 27. AMEF del sistema de Enfriamiento del aceite Hidráulico

#### 4.12.5.3. Sistema de Calefacción:

En la figura 28, AMEF del sistema de Calefacción, nos detalla la función, los modos de fallas, efectos de falla y el análisis del NPR, para luego tomar acciones y escoger al responsable en corregir dicha falla.

## Análisis de Modo y Efecto de la Falla - AMEF

SISTEMA:	Eléctrico
SUB-SISTEMA:	Sistema de Calefacción

Preparado por:	Juan José Cubillas Pérez	Página: 1 de 1
FMEA Fecha (Orig):	12/10/2018	Rev. Mantenimiento

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
¿Cuál es el proceso / actividad / producto?	¿De qué forma falla?	¿De qué maneras puede fallar el proceso / actividad / producto?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Que también pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?		¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?
Conservar la extrusión a una temperatura entre los 110 y 130°C	La temperatura de extrusión se encuentra por debajo de los 110°C	Termostato en mal estado.	Revisar el termostato por separado para revisar y darle mantenimiento, la máquina para y disminuye la producción.	7	5	8	280	Inspección y mantenimiento del termostato	Técnico de mecánico - eléctrico
	La temperatura de extrusión se encuentra por encima de los 130°C.	Mal ajuste en el receptáculo.	No hay soldadura solida extruida, producto defectuoso y pérdida de producción.	8	4	7	224	Inspección y mantenimiento del Receptáculo	Técnico de mecánico - eléctrico
		Mal ajuste en el utensilio.	La soldadura extruida sale con porosidades, lo cual es indicio de perdida de producción.	7	3	5	105	Inspección y mantenimiento del utensilio	Técnico de mecánico - eléctrico
		Termostato bloqueado.	Revisar el termostato por separado para revisar y darle mantenimiento, la máquina para y disminuye la producción.	8	5	8	320	Inspección y mantenimiento del termostato	Técnico de mecánico - eléctrico
		Conexiones eléctricas dañadas.	No hay señal de mando del termostato, la soldadura extruida es de mala calidad, no cumple con los estándares de la empresa.	6	8	5	240	Inspeccionar y mantenimiento de conexiones eléctricas	Técnico de mecánico - eléctrico
		Instalación inadecuada del termostato.	Revisar el termostato por separado para revisar y darle mantenimiento, la máquina para y disminuye la producción.	8	5	8	320	Entrenamiento y capacitación al personal.	Técnico de mecánico - eléctrico

#### 4.12.5.3 Sistema de Calefacción (Continuación)

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
Tener un pre-calefacción de un tiempo aprox. 1.1/2 horas.	La temperatura de extrusión se encuentra sin pre-calefacción.	Conexiones eléctricas dañadas.	Mal funcionamiento de los elementos de control de la pre-calefacción, lo cual genera una soldadura de mala calidad.	8	8	5	320	Inspeccionar y mantenimiento de conexiones eléctricas	Técnico de mecánico - eléctrico
		Mala operación del operador	La falta de capacitación al nuevo operador de máquina, hace que los parámetros tomados para la extrusión sean inadecuados.	10	3	9	270	Entrenamiento y capacitación al personal.	Técnico de mecánico - eléctrico
		Resistencias de temperatura dañadas.	No hay un calentamiento adecuado del receptáculo, lo que genera una soldadura de mala calidad.	8	6	8	384	Inspeccionar y mantenimiento de Resistencias de temperatura.	Técnico de mecánico - eléctrico
		Termocupla en mal estado.	La lectura del termómetro es incorrecta, ya que hay mala información, la soldadura no alcanza la temperatura adecuada.	9	8	8	576	Inspeccionar y mantenimiento de termocupla	Técnico de mecánico - eléctrico
		Cronómetro en mal estado.	Temperatura de pre-calefacción no es la adecuada, lo cual genera que la soldadura salga de manera correcta.	6	2	2	24	Inspección del cronómetro.	Técnico de mecánico - eléctrico

Figura 28. AMEF del sistema de Calefacción

#### 4.12.5.4. Control eléctrico:

En la figura 29, AMEF del control eléctrico, nos detalla la función, los modos de fallas, efectos de falla y el análisis del NPR, para luego tomar acciones y escoger al responsable en corregir dicha falla.

## Análisis de Modo y Efecto de la Falla - AMEF

SISTEMA:	Eléctrico
SUB-SISTEMA:	Control eléctrico

Preparado por:	Juan José Cubillas Pérez	Página: 1 de 1
FMEA Fecha (Orig):	15/10/2018	Rev. Mantenimiento

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
¿Cuál es el proceso / actividad / producto?	¿De qué forma falla?	¿De qué maneras puede fallar el proceso / actividad / producto?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Que también pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?		¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?
Generar energía eléctrica al sistema de extrusión.	No abastece de energía eléctrica al sistema de extrusión	Fluido eléctrico general fuera de servicio.	Revisar el fluido eléctrico general por separado para revisar y darle mantenimiento, la máquina para y disminuye la producción.	8	3	2	48	Inspección del fluido eléctrico	Técnico mecánico - eléctrico
		Interruptor general en mal estado.	Cambio de interruptor general, la producción disminuye por la falta de fluido eléctrico y la reposición del repuesto.	7	2	3	42	Inspección y mantenimiento del interruptor	Técnico mecánico - eléctrico
	Abastece energía eléctrica de una manera deficiente.	Contactos eléctricos en mal estado	El tener contactos eléctricos en mal estado, genera que los demás partes del circuito se vayan deteriorando progresivamente.	6	7	5	210	Inspección y mantenimiento de los contactos eléctricos	Técnico mecánico - eléctrico
		Conexiones eléctricas dañadas.	El fluido eléctrico no es constante, fallas inesperadas, que incurren con la producción y la mala calidad del producto.	7	5	8	280	Inspección y mantenimiento de las conexiones eléctricas	Técnico mecánico - eléctrico
		Relé térmico en mal estado	Algunos cambios en la función de la extrusora se verán en desventaja, y lo cual genera una producción menor de soldadura.	6	7	5	210	Inspección y mantenimiento del relé térmico	Técnico mecánico - eléctrico
		Resistencias eléctricas dañadas.	El sistema eléctrico comienza a dar fallas de manera repentina, lo que causa una serie de problemas en la producción, como mala calidad del producto.	7	8	5	280	Inspección y mantenimiento de las resistencias eléctricas	Técnico mecánico - eléctrico

#### 4.12.5.4 Control eléctrico (Continuación)

Pasos Clave del Proceso	Falla Funcional	Modos de Falla Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	O C U	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.
Desplazamiento de mecanismos	No hay carrera de avance del pistón.	Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L), en mal estado.	Cuando la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L) falla, la carrera del pistón es nula o defectuosa, no cumple con el requerimiento del trabajo.	8	3	8	192	Inspección y mantenimiento a la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L)	Técnico mecánico - eléctrico
		Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso	Cuando la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.) falla, la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L) deja de cumplir su trabajo automáticamente, lo cual genera un producto de mala calidad.	7	3	7	147	Inspección y mantenimiento a la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.)	Técnico mecánico - eléctrico
		Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	No hay un accionamiento de freno del avance del pistón, dañando la maquina o activando el interruptor de límite ER 41.	9	7	8	504	Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite EN 41	Técnico mecánico - eléctrico
	No hay carrera de regreso del pistón.	Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L), en mal estado.	Cuando la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L) falla, la carrera de regreso del pistón es nula o defectuosa, no cumple con el requerimiento del trabajo.	8	3	8	192	Inspección y mantenimiento a la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L)	Técnico mecánico - eléctrico
		Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso	Cuando la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.) falla, la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L) deja de cumplir su trabajo de regreso del pistón automáticamente, lo cual genera un producto de mala calidad.	7	3	7	147	Inspección y mantenimiento a la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.)	Técnico mecánico - eléctrico
		Interruptor de límite En 41 en mal estado.	Cuando Interruptor de límite En 41 está en mal estado, no hay retorno del pistón y los controles para una nueva carrera hacia delante queda desactivada.	9	7	8	504	Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite EN 41	Técnico mecánico - eléctrico
	Desplazamiento Inseguro, con presión excesiva.	Válvula de seguridad MVR 28 A, en mal estado.	En caso de una presión excesiva en el sistema hidráulico y la válvula de seguridad MVR 28 A, está en mal estado, ocasiona accidentes fatales o daños a la empresa.	9	3	2	54	Inspección y mantenimiento a la Válvula de seguridad MVR 28 A	Técnico mecánico - eléctrico
		Interruptor de límite ER 41 en mal estado.	La extrusora hidráulica trabaja desalineada, la calidad del producto es inadecuada.	9	3	6	162	Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite ER 41	Técnico mecánico - eléctrico

Figura 29. AMEF del Control eléctrico

#### 4.12.6. Fase 5:

Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos a través de la hoja de decisión.

##### 4.12.6.1. Sistema de Bombeo y pilotaje

Tabla 22

*Hoja de decisión RCM – Bombeo y pilotaje.*

HOJA DE DECISIÓN RCM REFERENCIA DE INFORMACIÓN		HOJA DE DECISIÓN RCM (AMEF)												FACILITADOR:	Juan José Cubillas Pérez	HOJA N° 1
		Hidráulico														
SUB-SISTEMA:		Sistema de bombeo y pilotaje												TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL (HORAS)	REALIZARSE POR
EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS		H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			H4	H5	S4						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	N4	N5	S4				
1	1	1	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	Inspección de la lectura del manómetro.	Antes de arrancar el equipo	Técnico mecánico - eléctrico	
1	1	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de la Válvula 4/3.	150	Técnico mecánico - eléctrico	
1	1	3	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento del cilindro hidráulico.	200	Técnico mecánico - eléctrico	
2	1	1	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento del cilindro hidráulico.	200	Técnico mecánico - eléctrico	
2	1	2	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	1000	Técnico mecánico - eléctrico	
2	2	1	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	Inspeccionar la alineación de la bomba y demás componentes.	500	Técnico mecánico - eléctrico	
2	2	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento del filtro	250	Técnico mecánico - eléctrico	
2	2	3	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de mangueras hidráulicas.	650	Técnico mecánico - eléctrico	
2	2	4	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	1000	Técnico mecánico - eléctrico	

*Nota:* se detalla la decisión del RCM del sistema de Bombeo y pilotaje de la extrusora hidráulica.

#### 4.12.6.2. Sistema de Enfriamiento del aceite hidráulico

Tabla 23

*Hoja de decisión RCM – Enfriamiento del aceite hidráulico.*

HOJA DE DECISIÓN RCM (AMEF)															
HOJA DE DECISIÓN RCM REFERENCIA DE INFORMACIÓN		SISTEMA: <b>Hidráulico</b> SUB-SISTEMA: <b>Enfriamiento del aceite hidráulico</b>											FACILITADOR:	HOJA N°	
EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS		H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE					FECHA DE ANÁLISIS:	Juan José Cubillas Pérez	DE			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL (HORAS)	REALIZARSE POR
							N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	1	1	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	Inspección o remplazo de termostato	1500	Técnico de mecánico - eléctrico
1	2	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar el nivel de refrigerante.	Antes de arrancar el equipo	Técnico de mecánico - eléctrico
1	2	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección o remplazo de válvula Solenoide	1000	Técnico de mecánico - eléctrico
1	2	3	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	Inspección o remplazo de termostato	1500	Técnico de mecánico - eléctrico
1	2	4	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento de tuberías de agua.	2000	Técnico de mecánico - eléctrico
1	2	5	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	Inspeccionar de los componentes en general.	600	Técnico de mecánico - eléctrico
2	1	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	250	Técnico de mecánico - eléctrico
2	1	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	650	Técnico de mecánico - eléctrico
2	2	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	1000	Técnico de mecánico - eléctrico
2	2	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	1000	Técnico de mecánico - eléctrico
2	2	3	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento de la bomba.	1000	Técnico de mecánico - eléctrico
2	2	4	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento de las conexiones.	100	Técnico de mecánico - eléctrico

*Nota:* se detalla la decisión del RCM del sistema de enfriamiento del aceite hidráulico de la extrusora hidráulica.

#### 4.12.6.3. Sistema de Calefacción:

Tabla 24

Hoja de decisión RCM – Calefacción.

HOJA DE DECISIÓN RCM (AMEF)																	
HOJA DE DECISIÓN		SISTEMA:						Eléctrico				FACILITADOR:		HOJA N° 1			
RCM		SUB-SISTEMA:						Sistema de Calefacción				FECHA DE ANÁLISIS:		DE 1			
REFERENCIA DE INFORMACIÓN		EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS						ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL (HORAS)		REALIZARSE POR	
F	FF	FM	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
1	1	1	N	S	S	N	N	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento del termostato	1500	Técnico de mecánico - eléctrico		
1	2	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento del Receptáculo	100	Técnico de mecánico - eléctrico		
1	2	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento del utensilio	150	Técnico de mecánico - eléctrico		
1	2	3	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento del termostato	1500	Técnico de mecánico - eléctrico		
1	2	4	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspeccionar y mantenimiento de conexiones eléctricas	800	Técnico de mecánico - eléctrico		
1	2	5	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	Entrenamiento y capacitación al personal.		Gerencia		
2	1	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar y mantenimiento de conexiones eléctricas	800	Técnico de mecánico - eléctrico		
2	1	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Entrenamiento y capacitación al personal.		Gerencia		
2	1	3	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar y mantenimiento de Resistencias de temperatura.	500	Técnico de mecánico - eléctrico		
2	1	4	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar y mantenimiento de termocupla	150	Técnico de mecánico - eléctrico		
2	1	5	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección del cronómetro.	1600	Técnico de mecánico - eléctrico		

Nota: se detalla la decisión del RCM del sistema de calefacción de la extrusora hidráulica

#### 4.12.6.4. Control eléctrico:

Tabla 25

*Hoja de decisión RCM – Tablero de Control.*

HOJA DE DECISIÓN RCM (AMEF)																
HOJA DE DECISIÓN RCM REFERENCIA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		Eléctrico										FACILITADOR:	HOJA N°	
		SUB-SISTEMA:		Control Eléctrico										Juan José Cubillas Pérez	1	
		EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS		ACCIÓN A FALTA DE										FECHA DE ANÁLISIS:	DE	
		H	S	H1	H2	H3								TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL (HORAS)	REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	1	1	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	Inspección del fluido eléctrico	700	Técnico de mecánico - eléctrico	
1	2	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento del interruptor	Antes de arrancar el equipo	Técnico de mecánico - eléctrico	
2	1	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento de los contactos eléctricos	400	Técnico de mecánico - eléctrico	
2	1	2	S	N	N	N	N	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento de las conexiones eléctricas	400	Técnico de mecánico - eléctrico	
2	1	3	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento del relé térmico	800	Técnico de mecánico - eléctrico	
2	1	4	S	S	N	N	N	N	S	N	N	N	Inspección y mantenimiento de las resistencias eléctricas	400	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	1	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento a la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L)	150	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	1	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento a la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.)	200	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	1	3	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite EN 41	300	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	2	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento a la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L)	150	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	2	2	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento a la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.)	1000	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	2	3	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite EN 41	300	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	3	1	S	N	N	N	N	S	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento a la Válvula de seguridad MVR 28 A	400	Técnico de mecánico - eléctrico	
3	3	2	S	N	N	N	N	S	N	N	N	N	Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite ER 41	400	Técnico de mecánico - eléctrico	

*Nota:* se detalla la decisión del sistema de control eléctrico de la extrusora hidráulica

#### 4.12.7. Fase 6:

Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

En la figura 30, plan de mantenimiento preventivo, se detalla las tareas preventivas y el intervalo en horas.

## Plan de mantenimiento preventivo de las extrusoras hidráulicas

Plan De Mantenimiento Preventivo				
Activo: Extrusora Hidráulica				
SISTEMA	SUB-SISTEMA	DEFINICIÓN DE TAREAS	INTERVALO (HORAS)	REALIZARSE POR
Hidráulico	Sistema de bombeo y pilotaje	Inspección de la lectura del manómetro.	Antes de arrancar el equipo	Auxiliar de mantenimiento
		Inspección y mantenimiento de la Válvula 4/3.	150	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento del cilindro hidráulico.	200	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento de la bomba.	1000	Auxiliar de mantenimiento
		Inspeccionar la alineación de la bomba y demás componentes.	500	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento del filtro de aceite hidráulico	250	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento de mangueras hidráulicas.	650	Técnico de mecánico-eléctrico
	Enfriamiento del aceite hidráulico	Inspección o remplazo de termostato	1500	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspeccionar el nivel de refrigerante.	Antes de arrancar el equipo	Auxiliar de mantenimiento
		Inspección o remplazo de válvula Solenoide	1000	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección o remplazo de termostato	1500	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento de tuberías de agua.	2000	Auxiliar de mantenimiento
		Inspeccionar de los componentes en general.	600	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento de la bomba de enfriamiento	250	Técnico de mecánico-eléctrico
Inspección y mantenimiento de las conexiones.	100	Auxiliar de mantenimiento		
Eléctrico	Sistema de Calefacción	Inspección y mantenimiento del termostato	1500	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento del Receptáculo	100	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento del utensilio	150	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspeccionar y mantenimiento de conexiones eléctricas	800	Auxiliar de mantenimiento
		Inspeccionar y mantenimiento de Resistencias de temperatura.	500	Auxiliar de mantenimiento
		Inspeccionar y mantenimiento de termocupla	150	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección del cronómetro.	1600	Auxiliar de mantenimiento

### Plan de mantenimiento preventivo de las extrusoras hidráulicas (Continuación)

Plan De Mantenimiento Preventivo				
Activo: Extrusora Hidráulica				
SISTEMA	SUB-SISTEMA	DEFINICIÓN DE TAREAS	INTERVALO (HORAS)	REALIZARSE POR
Eléctrico	Control Eléctrico	Inspección y mantenimiento del interruptor	15	Auxiliar de mantenimiento
		Inspección y mantenimiento de los contactos eléctricos	400	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento de las conexiones eléctricas	400	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento del relé térmico	800	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento de las resistencias eléctricas	400	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento a la Válvula Principal electromagnética (HSP 4/3 L)	150	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento a la Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.)	200	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite EN 41	300	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento a la Válvula de seguridad MVR 28 A	400	Técnico de mecánico-eléctrico
		Inspección y mantenimiento al Interruptor de límite ER 41	400	Técnico de mecánico-eléctrico

Figura 30. Plan de mantenimiento preventivo

Las tareas y el intervalo de horas del plan de mantenimiento preventivo, se elaboraron luego de haber completado y analizado la hoja de decisión del RCM que se diseñó en la fase 5 del RCM.

Para el plan de mantenimiento preventivo de las extrusoras hidráulicas de la empresa Italsolder S.A.C., se hizo uso del manual de mantenimiento, para priorizar y adelantar en horas a las fallas más comunes, y sobre todo analizar la experiencia del operador, quien es el colaborador que conoce la maquina en un 90%, ya que de esa manera se estableció un intervalo de horas más concretos.

Asimismo, se obtuvo un formato para el registro de inspección de las extrusoras hidráulicas, el cual será reportado por el inspector o técnico de mantenimiento. Ver anexo 8.

De igual manera, se obtuvo un formato para el registro de la historia de las Extrusoras hidráulicas, el cual será reportado por el auxiliar o técnico de mantenimiento. Ver anexo 9.

Para verificar el mantenimiento preventivo se elaboró el formato plan de acción, la cual se utiliza cuando se realiza el mantenimiento de las extrusoras hidráulicas según programación. Ver anexo 10.

#### **4.12.8. Fase 7:**

Puesta en marcha de las medidas preventivas: Después de identificar todas las fases anteriormente descritas, se realizaron los trabajos de mantenimiento preventivo en el año 2019, para mayor información revisar los resultados de la investigación.

## CAPÍTULO V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados respecto al objetivo específico 1

**Objetivo específico 1:** Determinar como la Implementación de la metodología RCM, mejora los tiempos de reparación de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

Los procedimientos que se llevaron a cabo para cumplir con el objetivo 1, fueron:

- 1.- Realizar los mantenimientos programados e inspecciones según cronograma.
- 2.- Tener una estrategia de trabajo para realizar las tareas de mantenimiento.
- 3.- Llevar un reporte de los tiempos de reparación de cada falla y mantenimiento
- 4.- Analizar los reportes de falla para encontrar el tiempo medio de reparación del año 2019.

#### 5.1.1 Tiempo medio de reparación de la extrusora LP250 – II

Luego de realizar los mantenimientos según cronograma, se realizó el reporte de fallas para tener un mejor control de los tiempos de reparación en horas de cada falla, tal como se observa en la tabla 26.

Tabla 26

*Reporte de fallas y mantenimiento del año 2019 en la extrusora LP250 – II.*

Extrusora Hidráulica LP250 - II		
Día-Mes-Año	Descripción de falla	Tiempo en que es reparado
05/01/2019	Mantenimiento de 400 Horas	5
03/02/2019	Desgaste de piezas	4
12/03/2019	Mantenimiento de 400 Horas	5
16/04/2019	Altos niveles de presión	3
10/05/2019	Mantenimiento de 600 Horas	7
13/06/2019	Vibración	3
12/07/2019	Mantenimiento de 600 Horas	7
15/09/2019	Mantenimiento de 1000 Horas	5
7/11/2019	Mantenimiento de 1500 Horas	7
Total del tiempo de reparación		46

*Nota:* se detalla las fallas, los mantenimientos y el tiempo de reparación total.

## Análisis del reporte de fallas frente a los tiempos de reparación de la extrusora

### LP250 – 1I.

Tabla 27

*Reporte del MTTR anual de la extrusora hidráulica LP250 – 1I.*

<b>Extrusora Hidráulica LP250 - 1I</b>			
Año	N° F	TRE	MTTR
2019	3	46	15.3

*Nota:* se detalla el tiempo medio de reparación del año 2019.

El Tiempo medio de reparación (MTTR) anual de la tabla 27 se obtuvo de la siguiente manera:

### **Cálculo del tiempo medio de reparación de la extrusora hidráulica LP250 – 1I del año 2019**

Para el cálculo del MTTR, se utilizó el número de fallas (N° F) y el tiempo en que es reparado dicha falla (TRE):

- N° F: 3
- TRE: 46 horas

Luego, se procedió al cálculo del tiempo medio de reparación de la extrusora LP250 -1I en el año 2019 según fórmula:

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR) del año 2019:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{46}{3} = 15.3$$

Luego de todo el análisis mostrado el resultado final del tiempo medio de reparación del año 2019 de la extrusora LP250 – 1I fue 15.3 horas.

### 5.1.2 Tiempo medio de reparación de la extrusora LP250 – 2I

Luego de realizar los mantenimientos según cronograma, se realizó el reporte de fallas para tener un mejor control de los tiempos de reparación en horas de cada falla, tal como se observa en la tabla 28.

Tabla 28

*Reporte del total del tiempo de reparación del año 2019 en la extrusora LP250 – 2I.*

Extrusora Hidráulica LP250 - 2I		
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo en que es reparado
11/01/2019	Mantenimiento de 500 Horas	3
13/02/2019	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	2
15/03/2019	Mantenimiento de 500 Horas	6
28/04/2019	Desgaste de piezas	3
11/05/2019	Mantenimiento de 600 Horas	6
21/06/2019	Termostato en mal estado	2
13/07/2019	Mantenimiento de 600 Horas	6
21/08/2019	Ruidos inusuales	3
16/09/2019	Mantenimiento de 1000 Horas	7
9/12/2019	Mantenimiento de 1500 Horas	8
Total del tiempo de reparación		46

*Nota:* se detalla las fallas, los mantenimientos y el tiempo de reparación total.

### **Análisis del reporte de fallas frente a los tiempos de reparación de la extrusora LP250 – 2I.**

Tabla 29

*Reporte del MTTR anual de la extrusora hidráulica LP250 – 2I*

Extrusora Hidráulica LP250 - 2I			
Año	N° F	TRE	MTTR
2019	4	46	11.5

*Nota:* se detalla el tiempo medio de reparación del año 2019.

El Tiempo medio de reparación (MTTR) anual de la tabla 29 se obtuvo de la siguiente manera:

## Cálculo del tiempo medio de reparación de la extrusora hidráulica LP250 – 2I del año 2019

Para el cálculo del MTTR, se utilizó el número de fallas (N° F) y el tiempo en que es reparado dicha falla (TRE):

- N° F: 4
- TRE: 46 horas

Luego, se procedió al cálculo del tiempo medio de reparación de la extrusora LP250 -2I en el año 2019 según formula:

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR) del año 2019:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{46}{4} = 11.5$$

Luego de todo el análisis mostrado el resultado final del tiempo medio de reparación del año 2019 de la extrusora LP250 – 2I fue 11.5 horas.

En la figura 31, podemos observar la diferencia que hay entre el promedio de los tiempos de reparación luego de implementar la metodología RCM en las extrusoras hidráulicas de la empresa Italsolder S.AC.

Activo	Datos iniciales según diagnóstico		Resultado final obtenido	
Extrusora Hidráulica LP250 - 1I	Año	MTTR	Año	MTTR
	2016	25.5	2019	15.3
	2017	20.7		
	2018	15.8		
	Promedio	20.7 Horas	Promedio	15.3 Horas
Extrusora Hidráulica LP250 - 2I	Año	MTTR	Año	MTTR
	2016	19.0	2019	11.5
	2017	13.0		
	2018	12.9		
	Promedio	15 Horas	Promedio	11.5 Horas

Figura 31. Datos iniciales versus resultados finales del MTTR de las extrusoras hidráulicas

La reducción en los tiempos de reparación en promedio de la extrusora LP250 – 1I fue de 20.7 a 15.3 horas y para la extrusora LP250 – 2I de 15 a 11.5 horas.

## 5.2. Resultados respecto al objetivo específico 2

**Objetivo específico 2:** Determinar en qué medida mejora la Implementación de la metodología RCM en la reducción del número de fallas de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

Los procedimientos que se llevaron a cabo para cumplir con el objetivo 2, fueron:

- 1.- Anticiparse a las fallas a través del nuevo mantenimiento preventivo.
- 2.- Cumplir con el cronograma de inspección y mantenimiento.
- 3.- Llevar un reporte del número de fallas para comparar la mejora del proceso.

Luego de anticiparse a las fallas y realizar los mantenimientos según cronograma, se realizó el reporte de fallas para tener un mejor control de los indicadores de mantenimiento, tal como se observa en la tabla 30 y 31 de cada extrusora.

### 5.2.1 Reporte de fallas de la extrusora LP250 – 1I

Tabla 30

*Reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 1I.*

Extrusora Hidráulica LP250 - 1I	
Día-Mes-Año	Descripción de falla
5/01/2019	Mantenimiento de 400 Horas
3/02/2019	Desgaste de piezas
12/03/2019	Mantenimiento de 400 Horas
16/04/2019	Altos niveles de presión
10/05/2019	Mantenimiento de 600 Horas
13/06/2019	Vibración
12/07/2019	Mantenimiento de 600 Horas
15/09/2019	Mantenimiento de 1000 Horas
7/11/2019	Mantenimiento de 1500 Horas

*Nota:* se detalla las fallas, los mantenimientos de la extrusora LP250 – 1I

## 5.2.2 Reporte de fallas de la extrusora LP250 – 2I

Tabla 31

*Reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 2I.*

Extrusora Hidráulica LP250 - 1I	
Día-Mes-Año	Descripción de falla
5/01/2019	Mantenimiento de 400 Horas
3/02/2019	Desgaste de piezas
12/03/2019	Mantenimiento de 400 Horas
16/04/2019	Altos niveles de presión
10/05/2019	Mantenimiento de 600 Horas
13/06/2019	Vibración
12/07/2019	Mantenimiento de 600 Horas
15/09/2019	Mantenimiento de 1000 Horas
7/11/2019	Mantenimiento de 1500 Horas

*Nota:* se detalla las fallas, los mantenimientos de la extrusora LP250 – 1I

En la figura 32, podemos observar la reducción de fallas de los años anteriores frente al año 2019, después de haber implementado la metodología RCM, la extrusora LP250 –1I, se redujo de 17 a 3 fallas, de igual manera en la extrusora LP250 – 2I, se redujo de 15 a 4 fallas.

Activo	Datos iniciales según diagnóstico		Resultado final obtenido	
	Año	NºF	Año	NºF
Extrusora Hidráulica LP250 - 1I	2016	13	2019	3
	2017	22		
	2018	17		
	Promedio	17	Promedio	3
Extrusora Hidráulica LP250 - 2I	2016	11	2019	4
	2017	19		
	2018	15		
	Promedio	15	Promedio	4

*Figura 32.* Datos iniciales versus resultados finales del N° de fallas de las extrusoras hidráulicas

La reducción del número de fallas en promedio de la extrusora LP250 – 1I fue de 17 a 3 fallas y para la extrusora LP250 – 2I de 15 a 4 fallas.

### 5.3. Resultados respecto al objetivo específico 3

**Objetivo específico 3:** Determinar en qué medida mejora la Implementación de la metodología RCM a los costos de mantenimiento de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

Los procedimientos que se llevaron a cabo para cumplir con el objetivo 3, fueron:

- 1.- Establecer o mantener los costos por hora de las intervenciones de mantenimiento
- 2.- Cumplir con el intervalo del nuevo plan de mantenimiento e inspección
- 3.- Reportar las horas por inspección y mantenimiento programado
- 4.- Analizar los reportes frente a los costos de mantenimiento.

#### 5.3.1 Costos de mantenimiento de la extrusora LP250-1I.

Tabla 32

*Costo de intervención de mantenimiento*

Descripción	Costo
Repuesto debido a una reparación imprevista	400
Reparaciones imprevistas x hora	6
Inspecciones programadas x hora	4
Mantenimiento programado x hora	3
Downtime (Lucro cesante)	1100

*Nota:* se detalla el costo por cada intervención por mantenimiento

En la tabla 33, podemos observar el reporte en horas de todo el año 2019 relacionadas con la reparación por falla imprevista, la inspección programada y mantenimiento programado donde se incluye los costos de mantenimiento por cada actividad.

Tabla 33

*Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -II*

Reporte en horas de la extrusora hidráulica LP250 – II. AÑO 2019													
Horas de Mantto	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3
Duración total (Horas)	0	4	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	10
Inspección programada	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	6
Duración total (Horas)	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	3
Mantenimiento programado	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	6
Duración total (Horas)	5	0	5	0	7	0	7	0	5	0	7	0	36
<b>Horas de Downtime</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>64</b>

*Nota:* se detalla el reporte en horas según la actividad de mantenimiento que se realizó.

En la tabla 34, podemos observar el análisis que se desarrolló frente a los reportes de los costos de mantenimiento de la extrusora hidráulica LP250 – II. Se pudo analizar que en base a un mantenimiento e inspección programados se logró reducir los costos de mantenimiento a \$ 9080.

Tabla 34

*Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -II*

Análisis de costos de la extrusora hidráulica LP250 – II. AÑO 2019													
Costos	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista MR	0	424	0	0	0	418	0	418	0	0	0	0	1260
Inspección programada	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	12
Mantenimiento programado	15	0	15	0	21	0	21	0	15	0	21	0	108
Lucro Cesante	0	2200	0	0	0	2200	0	3300	0	0	0	0	7700
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>2626</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>2620</b>	<b>21</b>	<b>3720</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>9080</b>

*Nota:* se detalla el análisis de costos de cada mes del año 2019

### 5.3.2 Costos de mantenimiento de la extrusora LP250-2I.

Tabla 35

*Costo de intervención de mantenimiento*

Descripción	Costo
Repuesto debido a una reparación imprevista	350
Reparaciones imprevistas x hora	6
Inspecciones programadas x hora	4
Mantenimiento programado x hora	3
Downtime (Lucro cesante)	1100

*Nota:* se detalla el costo por cada intervención por mantenimiento

En la tabla 36, podemos observar el reporte en horas de todo el año 2019 relacionadas con la reparación por falla imprevista, la inspección programada y mantenimiento programado donde se incluye los costos de mantenimiento por cada actividad.

Tabla 36

*Reporte en horas por actividad de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I*

REPORTE EN HORAS DE LA EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 – 2I. AÑO 2019													
Horas de Mantto	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	4
Duración total (Horas)	0	2	0	3	0	2	0	3	0	0	0	0	10
Inspección programada	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	4
Duración total (Horas)	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.5	0	2
Mantenimiento programado	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	6
Duración total (Horas)	3	0	6	0	6	0	6	0	7	0	0	8	36
<b>Horas de Downtime</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>62</b>

*Nota:* se detalla el reporte en horas según la actividad de mantenimiento que se realizó.

En la tabla 37, podemos observar el análisis que se desarrolló frente a los reportes de los costos de mantenimiento de la extrusora hidráulica LP250 – 2I. Se pudo analizar que en

base a un mantenimiento e inspección programados se logró reducir los costos de mantenimiento a \$ 12576.

Tabla 37

*Análisis de los costos de mantenimiento de la extrusora LP250 -2I*

ANÁLISIS DE COSTOS LA EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 – 2I. AÑO 2019													
Costos	En	Fe	Ma	Ab	My	Ju	Jl	Ag	St	Oc	No	Di	SUB TOTAL
Reparación por falla imprevista MR	0	362	0	368	0	362	0	368	0	0	0	0	1460
Inspección programada	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	2	0	8
Mantenimiento programado	9	0	18	0	18	0	18	0	21	0	0	24	108
Lucro Cesante	0	2200	0	3300	0	2200	0	3300	0	0	0	0	11000
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>2562</b>	<b>20</b>	<b>3668</b>	<b>18</b>	<b>2564</b>	<b>18</b>	<b>3668</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>24</b>	<b>12576</b>

*Nota:* se detalla el análisis de costos de cada mes del año 2019

En la figura 33, podemos observar la diferencia que hay en los costos de mantenimiento luego de implementar la metodología RCM en las extrusoras hidráulicas de la empresa Italsolder S.AC.

	Datos iniciales según diagnóstico	Resultado final obtenido
Extrusora Hidráulica LP250 -1I	Costos de mantenimiento 50 485	Costos de mantenimiento 9 080
Extrusora Hidráulica LP250 -2I	Costos de mantenimiento 43 664	Costos de mantenimiento 12 576

*Figura 33.* Datos iniciales versus resultados finales de los costos de las extrusoras hidráulicas

En la extrusora LP250 – 1I, inicialmente los costos de mantenimiento eran de \$50485, luego de la implementación del RCM los costos de mantenimiento fueron de \$9080 y en

la extrusora LP250 – 2I, inicialmente los costos de mantenimiento eran de \$43 664, luego de la implementación del RCM los costos de mantenimiento fueron de \$12576.

#### 5.4. Resultados para cumplir el objetivo general

**Objetivo general:** Determinar cómo mejora la Implementación de la metodología RCM la disponibilidad extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c

Los procedimientos que se llevaron a cabo para cumplir con el general, fueron:

- 1.- Realizar las tareas de inspección y mantenimiento del nuevo plan
- 2.- Realizar los reportes de mantenimiento y de fallas de las extrusoras hidráulicas
- 3.- Reportar las horas por inspección y mantenimiento programado para la evaluación de costos.
- 4.- Analizar la disponibilidad con los nuevos indicadores obtenidos

##### 5.4.1 Disponibilidad de la extrusora LP250 – 1I

Se procedió analizar los reportes de falla que presento el grupo electrógeno en el año 2019, la cual se utilizó para poder calcular la disponibilidad, el MTBF y el MTTR de las extrusoras. En la tabla 38, podemos observar un resumen de los reportes de fallas.

Tabla 38

*Resumen de reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 1I.*

EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 1I				
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
11/01/2019	Mantenimiento de 400 Horas	74	65	5
13/02/2019	Desgaste de piezas	98	86	4
15/03/2019	Mantenimiento de 400 Horas	205	195	5
28/04/2019	Altos niveles de presión	140	135	3
11/05/2019	Mantenimiento de 600 Horas	213	110	7
21/06/2019	Vibración	50	55	3
13/07/2019	Mantenimiento de 600 Horas	215	203	7
16/09/2019	Mantenimiento de 1000 Horas	312	375	5

9/11/2019 Mantenimiento de 1500 Horas 90 87 7

*Nota:* se detalla los reportes del año 2019 para realizar el cálculo de los indicadores de mantenimiento.

### Análisis del reporte de fallas de la extrusora LP250 – II.

Tabla 39

*Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – II*

Extrusora Hidráulica LP250 - II						
Año	NºF	TOP	TRE	MTBF	MTTR	D
2019	3	1397	46	465.7	15.3	96.8%

*Nota:* se detalla la disponibilidad del año 2019.

La disponibilidad anual de la tabla 39 se obtuvo de la siguiente manera:

### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – II del año 2019

- N° F: 3
- TOP: 1397 horas
- TRE: 46 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{1397}{3} = 465.7$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{46}{3} = 15.3$$

Disponibilidad del año 2019:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{465.7}{465.7 + 15.3} = 96.8\%$$

#### 5.4.2 Disponibilidad de la extrusora LP250 – 2I

Se procedió analizar los reportes de falla que presento el grupo electrógeno en el año 2019, la cual se utilizó para poder calcular la disponibilidad, el MTBF y el MTTR de las extrusoras. En la tabla 40, podemos observar un resumen de los reportes de fallas.

Tabla 40

*Resumen de reporte de fallas del año 2019 en la extrusora LP250 – 2I.*

Extrusora Hidráulica LP250 - 2I				
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
11/01/2019	Mantenimiento de 500 Horas	175	173	3
13/02/2019	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	103	98	2
15/03/2019	Mantenimiento de 500 Horas	230	225	6
28/04/2019	Desgaste de piezas	76	80	3
11/05/2019	Mantenimiento de 600 Horas	160	307	6
21/06/2019	Termostato en mal estado	80	77	2
13/07/2019	Mantenimiento de 600 Horas	215	203	6
21/08/2019	Ruidos inusuales	120	110	3
16/09/2019	Mantenimiento de 1000 Horas	200	375	7
9/12/2019	Mantenimiento de 1500 Horas	90	87	8

*Nota:* se detalla los reportes del año 2019 para realizar el cálculo de los indicadores de mantenimiento.

#### **Análisis del reporte de fallas de la extrusora LP250 – 2I.**

Tabla 41

*Reporte de la disponibilidad anual de la extrusora hidráulica LP250 – 2I*

Extrusora Hidráulica LP250 - 2I						
Año	Nº F	TOP	TRE	MTBF	MTTR	D

2019	4	1449	46	362.3	11.5	96.9%
------	---	------	----	-------	------	-------

*Nota:* se detalla la disponibilidad del año 2019.

La disponibilidad anual de la tabla 41 se obtuvo de la siguiente manera:

### Cálculo de la disponibilidad de la extrusora hidráulica LP250 – 2I del año 2019

- N° F: 4
- TOP: 1449 horas
- TRE: 46 horas

Luego, se procedió al cálculo de los indicadores.

Cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{1449}{4} = 362.3$$

Cálculo de tiempo medio de reparaciones (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} = \frac{46}{4} = 11.5$$

Disponibilidad del año 2019:

$$DISPONIBILIDAD = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{362.3}{362.3 + 11.5} = 96.9\%$$

En la figura 34, podemos observar la diferencia que hay en la disponibilidad luego de implementar la metodología RCM en las extrusoras hidráulicas de la empresa Italsolder S.AC.

*Figura 34.* Datos iniciales versus resultados finales de la disponibilidad de las extrusoras

Activo	Datos iniciales según diagnostico	Resultado final obtenido
Extrusora Hidráulica LP250 -1I	Disponibilidad promedio de los años 2016, 2017, 2018 86.4%	Disponibilidad del año 2019 96.8%
Extrusora Hidráulica LP250 -2I	Disponibilidad promedio de los años 2016, 2017, 2018 88.4%	Disponibilidad del año 2019 96.9%

hidráulicas.

En la extrusora LP250 – 1I, inicialmente la disponibilidad era de 86.4%, luego de la implementación del RCM la disponibilidad fue de 96.8% y en la extrusora LP250 – 2I, inicialmente la disponibilidad era de 88.4%, luego de la implementación del RCM la disponibilidad fue de 96.9%.

## CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Discusión de los resultados obtenidos

*Los resultados obtenidos referentes al objetivo específico 1*, son la reducción en los tiempos de reparación en promedio de la extrusora LP250 – 1I de 20.7 a 15.3 horas y para la extrusora LP250 – 2I de 15 a 11.5 horas, dichos resultados concuerdan con los obtenidos por el autor Álvarez (2018) que expuso que disminuyó el tiempo de reparación de 79 a 52 horas para el grupo 322-K-1D y de 117 a 40 horas para el grupo 322-K-1E. Además se comprobó que los resultados demostrados están alineados y coherentes con la teoría del análisis de modos y efectos de fallas.

*Los resultados obtenidos referentes al objetivo específico 2*, son la reducción del número de fallas en promedio de la extrusora LP250 – 1I de 17 a 3 fallas y para la extrusora LP250 – 2I de 15 a 4 fallas, dichos resultados concuerdan con los obtenidos por el autor Mendoza (2016) que expuso que redujo el número de falla de 38 a 30 en el primer caso y de 24 a 8 para el segundo caso de sus motores eléctricos de inducción. Además se comprobó que los resultados demostrados están alineados y coherentes con la teoría del análisis de modos y efectos de fallas.

*Los resultados obtenidos referentes al objetivo específico 3*, son la mejora de los costos de mantenimiento; en la extrusora LP250 – 1I, inicialmente los costos de mantenimiento eran de \$50485, luego de la implementación del RCM los costos de mantenimiento fueron de \$9080 y en la extrusora LP250 – 2I, inicialmente los costos de mantenimiento eran de \$43 664, luego de la implementación del RCM los costos de

mantenimiento fueron de \$12576, dichos resultados concuerdan con los obtenidos por el autor Zavala (2017) que expuso que redujo los costos de mantenimiento correctivo en un 32%. Además se comprobó que los resultados demostrados están alineados y coherentes con la teoría de los costos de mantenimiento, que se aplica en la industria.

### CONCLUSIONES

(1) En la extrusora LP250 – 1I, la reducción en los tiempos de reparación en promedio de los años 2016, 2017 y 2018 fue 20.7 horas, luego de la implementación del RCM el resultado final obtenido en el año 2019 fue de 15 horas. En la extrusora LP250 – 2I, la reducción en los tiempos de reparación en promedio de los años 2016, 2017 y 2018 fue de 15 horas, luego de la implementación del RCM el resultado final obtenido en el año 2019 fue de 11.5 horas.

(2) En la extrusora LP250 – 1I, la reducción del número de fallas en promedio de los años 2016, 2017 y 2018 fue 17 fallas, luego de la implementación del RCM el resultado final obtenido en el año 2019 fue de 3 fallas. En la extrusora LP250 – 2I, la reducción del número de fallas en promedio de los años 2016, 2017 y 2018 fue de 15 fallas, luego de la implementación del RCM el resultado final obtenido en el año 2019 fue de 4 fallas.

(3) En la evaluación de los costos de mantenimiento en la extrusora LP250 – 1I, inicialmente eran de \$50485, luego de la implementación del RCM los costos de mantenimiento fueron de \$9080 observándose un reducción de \$41405. En la extrusora LP250 – 2I, inicialmente eran de \$43 664, luego de la implementación del RCM los costos de mantenimiento fueron de \$12576 observándose un reducción de \$41423.

(4) La presente investigación tiene como conclusión general: En la extrusora LP250 – 1I la disponibilidad promedio de los años 2016, 2017 y 2018 fue de 86.4% luego de la implementación del RCM el resultado final obtenido en el año 2019 fue de 96.8% observándose un incremento de 10.4%. En la extrusora LP250 – 2I la disponibilidad promedio de los años 2016, 2017 y 2018 fue de 88.4% luego de la implementación del RCM el resultado final obtenido en el año 2019 fue de 96.9% observándose un incremento de 8.5%. Los tiempos de reparación para la extrusora LP250 – 1I, se redujo en un 27.5%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 23.3%. El número de fallas para la extrusora LP250 – 1I, se redujo en un 82.4%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 73.3%. Los costos de mantenimiento en la extrusora LP250 – 1I, se redujo en un 82%. En la extrusora LP250 – 2I, se redujo en un 71.2%.

## RECOMENDACIONES

- (1) Se recomienda al área de mantenimiento, las continuas capacitaciones y evaluaciones al personal involucrado en la implementación del RCM, ya que de esta manera se logre tener mejores indicadores de mantenimiento que nos ayuden a mejorar la rentabilidad de la empresa.
- (2) Se recomienda a la empresa Italsolder S.A.C, el compromiso de llevar a cabo las auditorías internas, ya que de esta manera tendremos un mejor control de las tareas realizadas por el personal de mantenimiento.
- (3) Se recomienda al área de mantenimiento, recolectar nuevos datos para plantear nuevos objetivos con la finalidad de seguir con la mejora del departamento de mantenimiento, y lograr cumplir con la visión y misión de la empresa Italsolder S.A.C.
- (4) Se recomienda a la empresa Italsolder S.A.C realizar un nuevo análisis de criticidad para posteriormente aplicar la metodología RCM a los de más activos de la empresa.

## REFERENCIAS

- Alvarez, R. (2018). Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de los Motores Caterpillar 3516 de los Grupos Electrónicos de una Refinería de Petróleo Iquitos – Perú. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional Del Callao, Callao.
- Arques, J. (2009). *Ingeniería y Gestión del Mantenimiento en el Sector Ferroviario*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Bastidas, E. (2013). Mantenimiento Basado en la Confiabilidad Para Mejorar la Disponibilidad Mecánica de los Grupos Electrónicos Olympian GEP110-4 en el Proyecto Flowline Lote 56 de la Empresa Serpetbol Perú Sac. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo.
- Bureau Veritas. (17 de julio de 2017). Obtenido de Bureau Veritas: <https://lubrication-management.com/2017/07/17/el-origen-y-la-actualidad-del-mantenimiento-predictivo-a-nivel-mundial/>
- Cámara Minera Del Perú. (31 de Octubre de 19). Obtenido de Cámara Minera Del Perú: <https://camiper.com/tiempominero/entender-la-rentabilidad-en-mineria-desafios-de-la-gestion-del-mantenimiento/>
- Cuatrecasas Lluís, T. F. (2010). *TPM en un entorno Lean Mangement*. Barcelona: Profit Editorial.
- García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.

- Gómez, F. (1998). *Tecnología del mantenimiento Industrial*. Murcia: Servicio de publicaciones, Universidad de murcia C/ Santo Cristo, 1 MURCIA.
- González, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: Fundación confememtal.
- Guevara, E. (s.f.). Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a los grupos electrógenos de la estación Tapir A del bloque 17 PetroOriental. (*Tesis de Licenciatura*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- IMG. (7 de Diciembre de 2019). Obtenido de IMG: <https://www.revistaimg.com/las-referencias-del-mantenimiento-en-epoca-de-crisis/>
- ISO. (2006). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Switzerland: ISO 14224,2006.
- Lean Solutions. (s.f.). Obtenido de <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
- Mendoza, C. (2016). Sistema De Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Motores Eléctricos de Inducción. (*Tesis de Maestría*). Univerdidad mayor de San Andrés, La Paz.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. North Carolina: Aladon LLC.
- Osorio, R. (s.f.). Plan de Mantenimiento Preventivo para Mejorar la Disponibilidad de la perforadora diamantina superdrill H600 de la empresa Maqpower S.A.C. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Del Centro Del Perú, Huancayo.

*Qualitymant.* (2 de octubre de 2017). Obtenido de Qualitymant:

<https://qualitymant.com/que-es-el-rcm/>

*Qualitymant.* (2 de Febrero de 2019). Obtenido de Qualitymant:

<https://qualitymant.com/la-importancia-del-mantenimiento-industrial/>

Rodríguez, J. (24 de octubre de 2008). *Gestión del mantenimiento. Introducción a la teoría del mantenimiento.* Obtenido de

<http://www.scribd.com/doc/7497765/Gestion-del-mantenimiento>

*RPP.* (3 de Junio de 2018). Obtenido de RPP: <https://rpp.pe/campanas/branded-content/que-son-los-costos-de-mantenimiento-noticia-1097637>

SAE. (1999). *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* SAE JA 1011.

Sánchez, H. &. (2015). *Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis.* Bogota: Ediciones de la U.

*Scielo.* (14 de 05 de 2012). Obtenido de

<http://scielo.sld.cu/img/revistas/vac/v21n2/t0107212.jpg>

Tecsup. (2012). *Gestión de Estratégica Mantenimiento.* Lima: Tecsup 2012.

Tecsup. (2017). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* Lima: Tecsup 2017.

Zavala, M. (2017). Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en el Grupo Electrógeno FG-WILSON P-300 de las Granjas Avícolas de la Empresa Procesadora Nacional de Alimentos Zona Bucay. (*Tesis de Maestría*). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Matriz de Consistencia- Coherencia

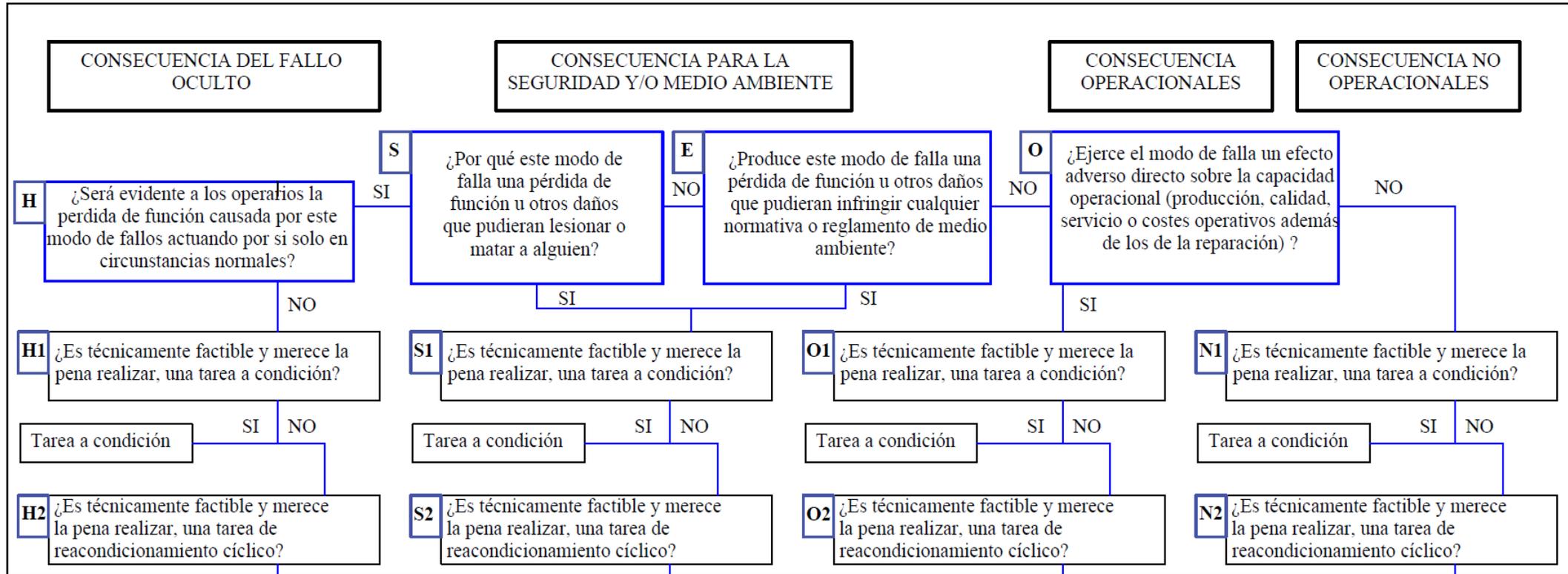
**Título:** Implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad y los efectos en la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas, en la empresa Italsolder s.a.c.

**Autor:** Juan José Cubillas Pérez

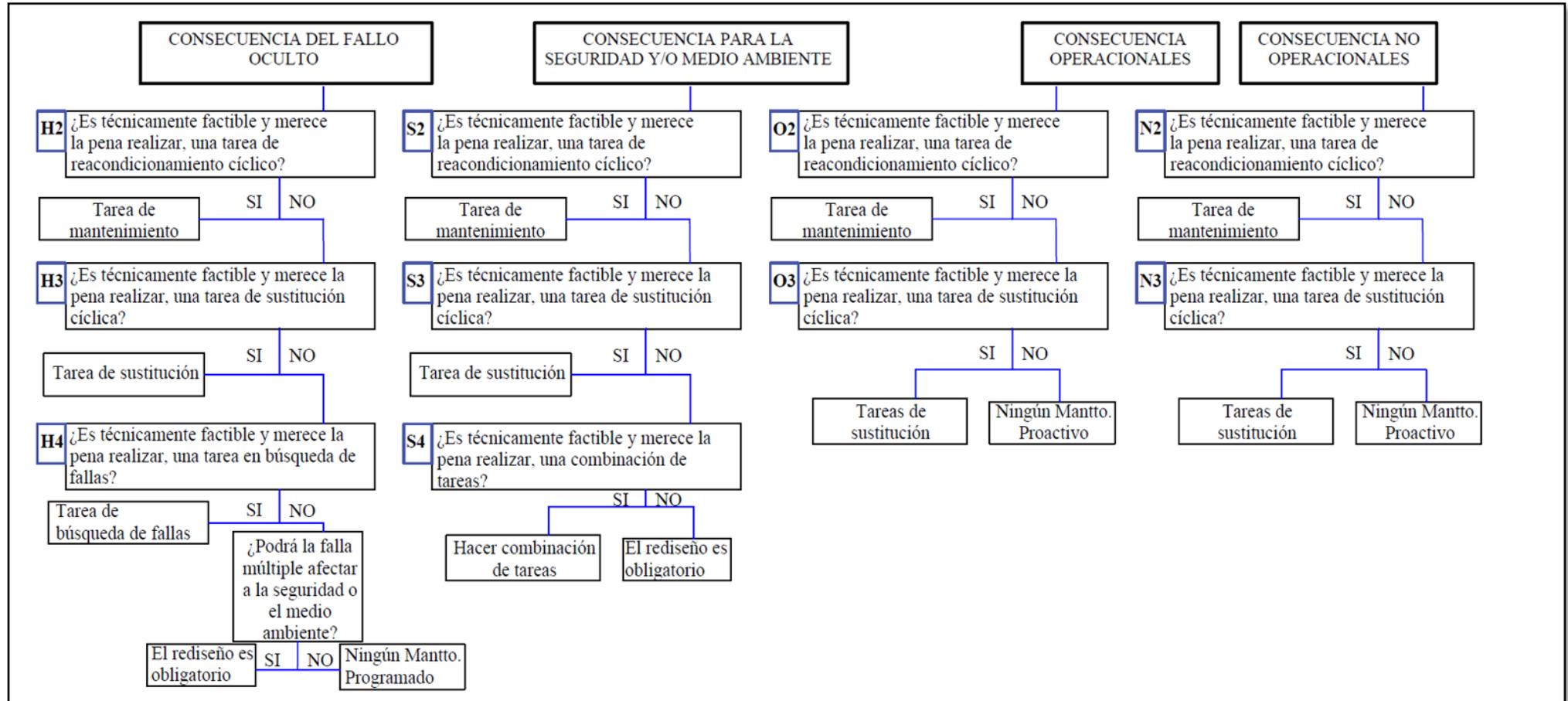
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
<p><b>General</b> ¿Cómo mejora la metodología RCM la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?</p>	<p><b>General</b> Determinar cómo la Implementación de la metodología RCM, mejora la disponibilidad de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c</p>	<p><b>General</b> La implementación de la metodología RCM, mejora significativamente la disponibilidad extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c</p>	<p><b>Variable Ind.(X)</b> Implementación de la metodología RCM</p> <p><b>Variable Dep.(Y)</b> Disponibilidad extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c</p>
<p><b>Específicos</b> a) ¿En qué medida mejora la implementación de la metodología RCM a los tiempos de reparación de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?  b) ¿En qué medida mejora la implementación de la metodología RCM a la reducción del número de fallas de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?  c) ¿En qué medida mejora la implementación de la metodología RCM a los costos de mantenimiento de las</p>	<p><b>Específicos</b> a) Determinar como la Implementación de la metodología RCM, mejora los tiempos de reparación de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c  b) Determinar en qué medida mejora la Implementación de la metodología RCM en la reducción del número de fallas de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c  c) Determinar en qué medida mejora la Implementación de la metodología RCM a los costos de mantenimiento de las</p>	<p><b>Específicos</b> a) La implementación de la metodología RCM mejora significativamente a los tiempos de reparación de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c  b) La implementación de la metodología RCM mejora significativamente la reducción del número de fallas de las extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c  c) La implementación de la metodología RCM mejora significativamente los costos de mantenimiento de las</p>	<p><b>Variable (X<sub>1</sub>):</b> Implementación de la metodología RCM</p> <p><b>Variable (Y<sub>1</sub>):</b> Tiempos de reparación.</p> <p><b>Variable (X<sub>2</sub>):</b> Implementación de la metodología RCM</p> <p><b>Variable (Y<sub>2</sub>):</b> Número de fallas</p> <p><b>Variable (X<sub>3</sub>):</b> Implementación de la metodología RCM</p> <p><b>Variable (Y<sub>3</sub>):</b></p>

extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c?	extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c	extrusoras hidráulicas en la empresa Italsolder s.a.c	Costos de mantenimiento
--	---	---	----------------------------

ANEXO 2. Diagrama de decisión de RCM



ANEXO 2. Diagrama de decisión de RCM (continuación)



### ANEXO 3. Reporte de fallas

#### EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 1I

DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
3/02/2016	Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso	123	120	12
12/02/2016	Bomba de aceite en mal estado	343	231	65
15/03/2016	Instalación incorrecta de algún componente	130	120	15
25/03/2016	Desgaste de piezas	120	110	26
21/06/2016	Suciedad en el líquido hidráulico	171	130	15
12/07/2016	Atascamiento en los filtros	142	132	15
17/07/2016	Termostato en mal estado	130	120	12
14/08/2016	Vibración	98	87	15
25/08/2016	Perdida de presión lenta o repentina.	141	140	9
8/09/2016	Altos niveles de presión	115	110	15
23/09/2016	Bomba de aceite en mal estado	176	165	43
13/10/2016	Válvula 4/3 en mal estado	270	265	35
25/11/2016	Falla de curvatura del émbolo	320	280	54

#### EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 1I

DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
3/02/2017	Válvula 4/3 en mal estado	96	94	13
12/02/2017	Sellos hidráulicos del cilindro	123	120	31
15/03/2017	Bomba de aceite en mal estado	100	98	10
25/03/2017	Filtro de succión en mal estado	60	55	10
6/04/2017	Pérdida de aceite en la bomba	50	50	16
7/04/2017	Termostato en mal estado	60	65	16
8/04/2017	Tuberías en estado de corrosión	150	154	10
9/04/2017	Bomba de aceite en mal estado	40	20	45
10/04/2017	Empaquetadura de la bomba en mal estado	79	81	28
23/04/2017	Filtro de succión en mal estado	75	75	12
8/05/2017	Termostato en mal estado	87	89	27
16/05/2017	Bomba de aceite en mal estado	67	64	35
10/06/2017	Resistencia de temperatura dañada	150	145	15
21/06/2017	Termocupla en mal estado	90	87	13
12/07/2017	Relé térmico en mal estado	130	119	14
17/07/2017	Altos niveles de presión	45	45	15
14/08/2017	Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso	92	87	41
25/08/2017	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	76	73	12
8/09/2017	Termostato en mal estado	125	120	10
23/09/2017	Instalación incorrecta de componentes	69	65	8
13/10/2017	Interruptor de límite ER 41 en mal estado.	95	97	12
25/11/2017	Bomba de aceite en mal estado	55	55	63

ITALSOLDER S.A.C.

Fernando Tullini  
INGENIERO

ANEXO 3. Reporte de fallas (continuación)

EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 1I				
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
11/01/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	89	10
22/01/2018	Válvula 4/3 en mal estado	145	132	23
13/02/2018	Termostato en mal estado	230	197	13
24/02/2018	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	130	135	12
15/03/2018	Sellos hidráulicos del cilindro	210	119	16
29/03/2018	Perdida de presión lenta o repentina.	90	95	5
28/05/2018	Altos niveles de presión	140	135	4
11/05/2018	Termostato en mal estado	130	125	10
5/06/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	135	45
21/06/2018	Cilindro hidráulico con desplazamiento lento	110	100	23
13/07/2018	Tuberías en estado de corrosión	450	321	10
4/08/2018	Suciedad en el líquido hidráulico	120	98	31
25/08/2018	Vibración	45	40	14
16/09/2018	Conexiones eléctricas dañadas	210	455	15
27/09/2018	Válvula 4/3 en mal estado	310	213	13
8/10/2018	Filtro de succión en mal estado	55	60	10
29/10/2018	Empaquetadura de la bomba en mal estado	94	100	15

EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 2I				
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
3/02/2016	Filtro de succión en mal estado	62	57	13
12/02/2016	Cilindro hidráulico con desplazamiento lento	343	231	65
15/03/2016	Bomba de aceite en mal estado	45	25	10
25/03/2016	Pérdida de aceite en la bomba	56	55	10
21/06/2016	Termostato en mal estado	130	120	12
12/07/2016	Tuberías en estado de corrosión	110	115	12
17/07/2016	Válvula 4/3 en mal estado	270	265	35
14/08/2016	Bomba de aceite en mal estado	67	65	14
25/08/2016	Interruptor de límite ER 41 en mal estado.	110	108	13
13/10/2016	Empaquetadura de la bomba en mal estado	84	87	10
25/11/2016	Suciedad en el líquido hidráulico	171	130	15

ANEXO 3. Reporte de fallas (continuación)

EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 2I

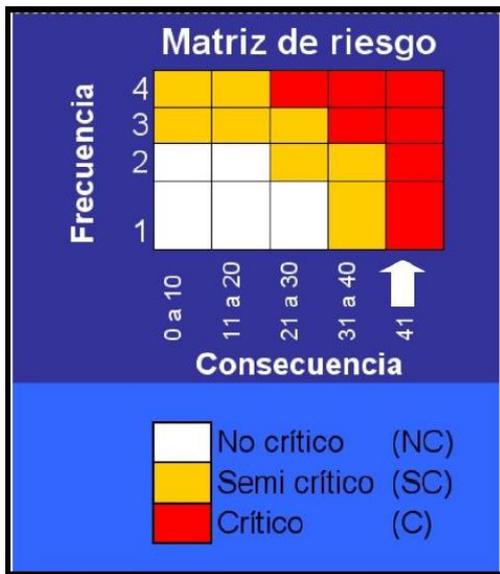
DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
3/02/2017	Bomba de aceite en mal estado	55	55	12
12/02/2017	Termostato en mal estado	60	65	16
15/03/2017	Sellos hidráulicos del cilindro	129	119	16
25/03/2017	Aumento de partículas en el aceite	55	46	10
6/04/2017	Válvula 4/3 en mal estado	61	45	13
7/04/2017	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	79	81	12
8/04/2017	Filtro de succión en mal estado	75	75	10
9/04/2017	Bomba de aceite en mal estado	55	55	17
10/04/2017	Perdida de presión lenta o repentina.	90	95	12
23/04/2017	Ruidos inusuales	76	80	15
8/05/2017	Resistencias eléctricas dañadas	64	59	9
12/07/2017	Bomba de aceite en mal estado	45	40	14
17/07/2017	Válvula 4/3 en mal estado	96	94	11
14/08/2017	Altos niveles de presión	98	105	13
25/08/2017	Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso	92	87	10
8/09/2017	Relé térmico en mal estado	130	119	14
23/09/2017	Termostato en mal estado	60	65	16
13/10/2017	Bomba de aceite en mal estado	69	65	15
25/11/2017	Interruptor de límite ER 41 en mal estado.	76	73	12



EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 2I

DÍA-MES-AÑO	Descripción de falla	Tiempo de trabajo	Tiempo en que vuelve a fallar	Tiempo en que es reparado
11/01/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	89	10
22/01/2018	Pérdida de aceite en la bomba	50	50	8
13/02/2018	Termostato en mal estado	60	65	16
24/02/2018	Interruptor de límite EN 41 en mal estado.	130	132	6
15/03/2018	Sellos hidráulicos del cilindro	210	119	16
29/03/2018	Válvula 4/3 en mal estado	145	132	23
28/05/2018	Altos niveles de presión	45	45	4
11/05/2018	Termostato en mal estado	60	65	16
13/07/2018	Válvula Solenoide (MV 28, 12 Atm.), defectuoso	92	87	7
4/08/2018	Resistencias eléctricas dañadas	67	76	8
25/08/2018	Bomba de aceite en mal estado	123	135	45
16/09/2018	Conexiones eléctricas dañadas	450	430	10
27/09/2018	Válvula 4/3 en mal estado	310	213	13
8/10/2018	Filtro de succión en mal estado	60	55	3
29/10/2018	Bomba de aceite en mal estado	79	81	8

### ANEXO 4. Criticidad



ITALSOLDER S.A.C.

*Fernando Tulini*  
GERENTE

EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS
1	Horno de Fundición
2	Grupo electrógeno
2	Compresor
4	Extrusora hidráulica de soldadura
3	Cortadora de soldadura
4	Bobinadora
3	Trefiladora de alambre de soldadura
EQUIPO	IMPACTO OPERACIONAL
6	Horno de Fundición
6	Grupo electrógeno
6	Compresor
6	Extrusora hidráulica de soldadura
6	Cortadora de soldadura
6	Bobinadora
6	Trefiladora de alambre de soldadura
EQUIPO	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL
2	Horno de Fundición
4	Grupo electrógeno
4	Compresor
4	Extrusora hidráulica de soldadura
4	Cortadora de soldadura
4	Bobinadora
4	Trefiladora de alambre de soldadura
EQUIPO	COSTO DE MANTENIMIENTO
1	Horno de Fundición
5	Grupo electrógeno
5	Compresor
10	Extrusora hidráulica de soldadura
5	Cortadora de soldadura
5	Bobinadora
1	Trefiladora de alambre de soldadura
EQUIPO	IMPACTO EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
32	Horno de Fundición
0	Grupo electrógeno
0	Compresor
8	Extrusora hidráulica de soldadura
0	Cortadora de soldadura
0	Bobinadora
0	Trefiladora de alambre de soldadura

EQUIPO	CRITICIDAD	ESTADO
Horno de Fundición	45	C
Grupo electrógeno	58	C
Compresor	58	C
<b>Extrusora hidráulica de soldadura</b>	168	C
Cortadora de soldadura	87	C
Bobinadora	116	C
Trefiladora de alambre de soldadura	75	C

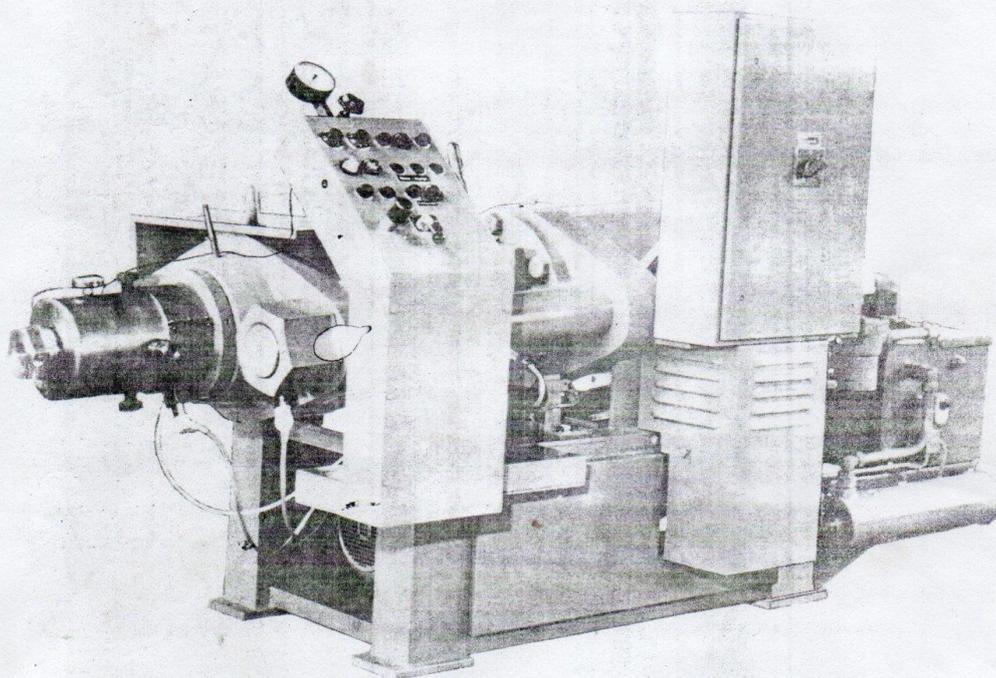
ANEXO 5. Ficha técnica

FICHA TECNICA DE EQUIPOS				<b>ITALSOLDER</b>	
<b>1.DATOS TECNICOS</b>					
Código	LP - 250		Corriente	220 A	
Nombre del equipo	Extrusora Hidráulica				
Función que realiza	Extrucción de soldadura				
Ubicación	Planrta			<b>Sistema Hidráulico</b>	
Tamaño	3 X 1.25 mt		Presión Max.	9 Toneladas	
Peso			Presión Max. de Trabajo	250 Toneladas	
Potencia	15 HP		Presión Max. de Regreso	20 Toneladas	
Voltaje	220 Trifasico		Sistema de Calefacción	5 kw	
Lectura de su vida útil					
<b>2.FECHAS</b>					
Fecha de fabricación:			Fecha de instalación		
Fecha límite de garantía			Fecha última actualización	28/03/2014	
<b>3. COSTOS</b>					
Costo original( U\$ )			Costo de reposición( U\$ )		
Costo actual( U\$ )					
	Costo de mantenimiento:				
	Año:	Costo	en % del Costo de Reposición		
	1				
	2				
	3				
	3				
<b>4. DATOS DE CONDICION</b>					
Efectividad actual			%	Importancia crítica	1ro
Estado del equipo	Operativo			Responsable directo	Mantenimiento
<b>5. DOCUMENTOS DISPONIBLES:</b>					
		Si / No	Ubicación	Idioma	
	Historia	Si	Taller	español	
	Planos	si	Taller	español	
	Manuales	Si	Taller	Ingles/español	
<b>6. COMPONENTES:</b>					
Nombre	N° de serie	Proveedor Nacional	Proveedor Extranjero	Características	\$ Costo

ANEXO 6. Manual de la Extrusora Hidráulica LP 250

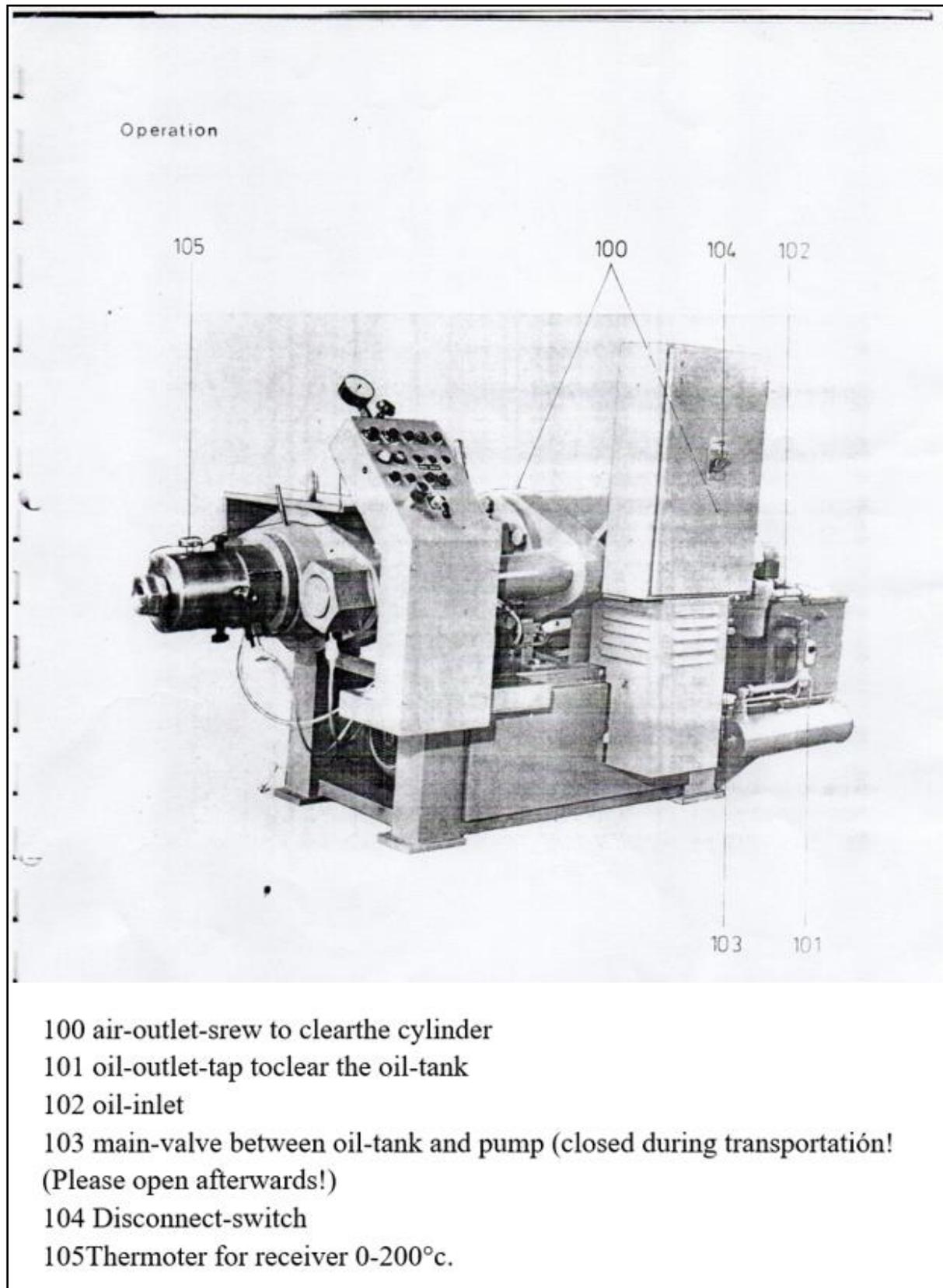
# LP 250

Semi-automatic 250 ton  
solder-wire-extrusion-press



**W. H. COLLIN**  
Maschinenfabrik  
8890 Aichach  
Bavaria - Germany

ANEXO 6. Manual de la Extrusora Hidráulica LP 250 (continuación)

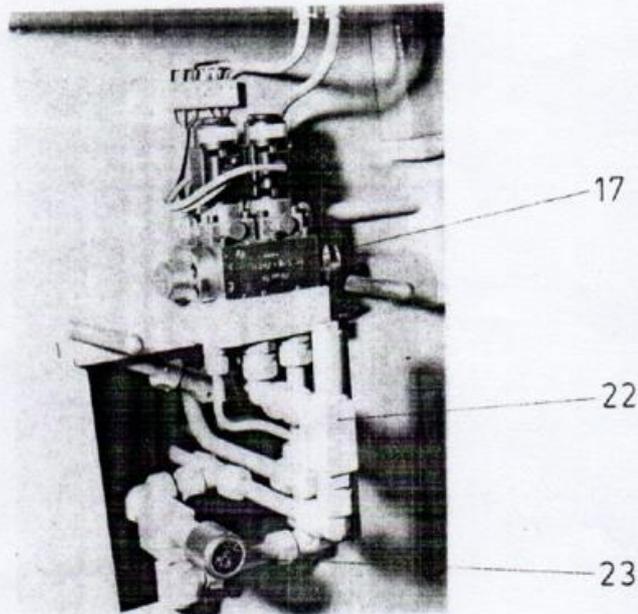


ANEXO 6. Manual de la Extrusora Hidráulica LP 250 (continuación)

<u>Datos Tecnicos</u>	
Presión maxima del avance rapido	9 Tons.
Presión maxima de trabajo	250 "
Presión maxima de regreso	20 "
Presión maxima de la prensa hidraulica	max. 320 Kg./cm <sup>2</sup> (atm)
Dimensión de las biletas	∅: 72 x 175 mm.
Potencia del motor	15 Kw. = HP
Sistema de calefacción	5 Kw.
Conexiones principales	20 Kw.
Voltaje: Motor trifasico	220 Volts.
circuitos de control	220 Volts.
Corriente:	70 Amp.
Frecuencia:	3 - fases 60 Hz.
capacidad de la bomba	17.4 lts./min.

## ANEXO 6. Manual de la Extrusora Hidráulica LP 250 (continuación)

### Solenoid - valves



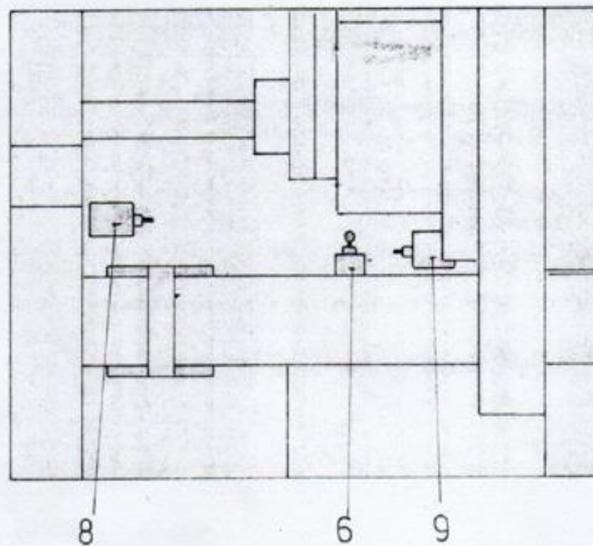
17 HSP 4/3 Electro-magnetic main steering-valve for forward and return-stroke of plunger.

22 MV 28 (12 atü) valve Works together with the HSP (17) and makes sure that the HSP Works by creating under all circumstances 12 atü pressure.

23MVR 28 A safety-valve saves the hydraulic-system from too high pressures. It can be set from 0 to 350 atü (0 to 5000 p.s.i.)

ANEXO 6. Manual de la Extrusora Hidráulica LP 250 (continuación)

Limit-switches



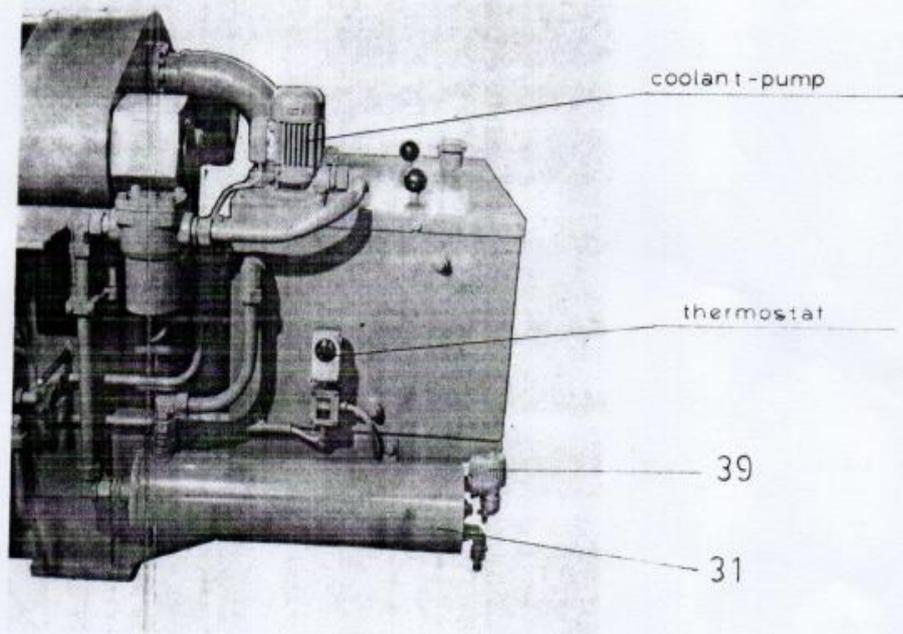
6 limit-switch ER 41 for safety prevents press-ram from moving Forward, if press-ram is not in the center.

8 limit.switch EN 41 stops the forward-stroke at the end and turns The steering-system to return-stroke.

9 limit.switch EN 41 stops ram at the end of the return-stroke and turns the controls to the forward-stroke

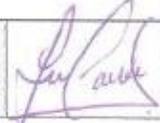
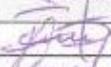
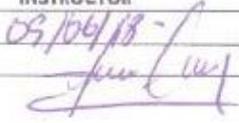
ANEXO 6. Manual de la Extrusora Hidráulica LP 250 (continuación)

Cooling -system of the hydraulic -oil

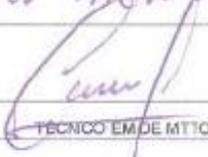


The temperature of the hydraulic-oil should not exceed  $40^{\circ}\text{C}$ .  
You have to switch on the cooling-system if the press works  
for a longer time. Set the thermostat to about  $30^{\circ}\text{C}$ .  
(Selector-switch Nr. 37 and pilot-light Nr. 38 shines when  
pump is working) The coolant-pump pumps the oil through  
the oil-cooler Nr. 31. The thermostat opens the solenoid-  
valve 39 if the oil-temperature is higher than the tempe-  
rature set ( $30^{\circ}\text{C}$ ).

ANEXO 7. Entrenamiento y capacitación

		REGISTRO DE INDUCCIÓN, CAPACITACIÓN, ENTRENAMIENTO Y SIMULACRO DE EMERGENCIA			FQ-AD-REG-2019-02 Fecha:	
<b>DATOS DEL EMPLEADOR</b>						
1. RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN SOCIAL	2. RUC	3. DOMICILIO (Dirección, distrito, departamento, provincia)	4. ACTIVIDAD ECONÓMICA	5. N° TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL		
ITALSOLDER S.A.C	20434217 866	Av. GUILLERMO DANSEY	—	20		
<b>MARCAR CON UNA EQUIS (X)</b>						
6. INDUCCIÓN		7. CAPACITACIÓN		8. ENTRENAMIENTO		9. SIMULACRO DE EMERGENCIA
10. TEMA O CURSO:		RCM (FASE 1 : ESTUDIO DETALLADO DE FUNCIONAMIENTO)				
11. FECHA:		09/06/18				
12. NOMBRE DEL CAPACITADOR O ENTRENADOR:		12.1 DNI:		12.2 Firma:		
13. N° HORAS:						
N°	14. NOMBRES Y APELLIDOS	15. DNI	16. ÁREA	17. CARGO	18. FIRMA	19. OBSERVACIONES
1	FERNANDO BERRIOSA	753138802	MH	JEFE DE MONT.		/
2	CESAR ESPIRITU	1527004001	MH	SUPER DE MONT.		/
3	PABLO ARELLANO	44643812	MH	AUXILIAR DE MONT.		/
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
INSERTAR TANTOS REGLONES COMO SEA NECESARIO						
20. RESPONSABLE DEL REGISTRO						
Nombre	JUAN JOSÉ CUBILLAS PÉREZ					
Cargo	INSTRUCTOR					
Fecha	09/06/18					
Firma						

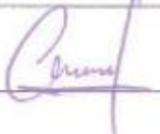
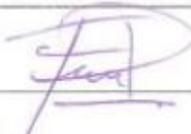
ANEXO 8. Registro de inspección

<b>ITALSOLDER</b>		<b>REGISTRO DE INSPECCIÓN DEL EXTRUSORA HIDRÁULICA LP250 - 11</b>																
Código de equipo :		LP250-11		Lectura del Horómetro:						Inspector:		Espinoza						
Número de Extrusora hidráulica:		1		250125h						Fecha de Inspección:		15/02/19						
Frecuencia:		Semanal																
 <p>Marcar los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda.</p>		Bueno-Alto	Regular - Medio	Malo - Bajo	Requiere Lubricación	Requiere Ajustes	Requiere Reemplazo	Requiere Limpieza	Requiere Recarga	Requiere Pintura	Requiere Soldadura	Aceite Normal	Presencia o fuga de aceite	Ruidos Extraños	Vibración Excesiva	Fuga de Fluido	Calentamiento Anormal	Ver comentarios adicionales
		<b>1.-Extrusora hidráulica PARADA:</b>																
1.1.-Estado del Aceite de la bomba		/	/				/	/				/						
1.2.-Nivel de Aceite en la bomba		/	/				/	/				/						
1.3.-Estado del Radiador		/	/															
1.4.-Nivel de Agua (Refrigerante)		/	/														/	
1.6.-Inspección de la Termocupla		/	/															
1.7.-Estado del Tanque de aceite hidráulico		/	/															
1.8.-Inspección de las mangueras hidráulicas.		/	/										/					
1.9.-Limpieza		/	/															
1.10.-Otros		/	/															
<b>2.-Extrusora hidráulica en FUNCIONAMIENTO:</b>																		
2.1.-Conexiones hidráulicas		/	/															
2.2.-Filtro de Aceite		/	/				/	/				/						
2.3.-Ruidos Extraños		/	/				/	/										
2.4.-HSP 4/31 Válvula principal		/	/				/	/										
2.5.-Termostato		/	/				/	/										
2.6.-Bomba de Agua		/	/									/						
2.7.-Bomba de Aceite		/	/									/						
2.9.-Estado del enfriador de aceite		/	/														/	
2.10.-Estado de la válvula solenoide		/	/														/	
2.11.-Estado del termostato		/	/				/	/										
2.12.-Cañerías de agua		/	/				/	/										
2.13.-Válvula de seguridad MV 28		/	/									/						
2.14.-Conexiones hidráulicas		/	/									/						
2.15.-Interruptor de límite de carrera		/	/									/						
2.16.-Apariencia de fuga de aceite		/	/									/						
2.17.-Vibración Excesiva		/	/															
2.18.-Otros		/	/															
<b>4.-Comentarios Adicionales:</b>																		
		<p>- Verificar el funcionamiento de la bomba. (abrocarvento)</p> <p>- Verificar las conexiones Hidráulicas (reemplazo).</p>																
		 TECNICO EM DE MTO.										 JEFE DE MTO.						





ANEXO 10. Formato de plan de acción

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO			Cod. Extrusora: LP250-2I
					Nro. registro: 0004-19
Datos históricos				Personal a cargo de la prueba	
CHECK LIST	Si	Fecha	11/01/19	Supervisor de Mantenimiento	Fernando Berrocal
	No	Hora inicio	13:30	Técnico Mecánico	Cesar Espiritu.
	Min. Rev.	Hora final	16:30		
Parte Mecánica			Parte Eléctrica		
Tarea de mantenimiento		Acción	Tarea de mantenimiento		Acción
Revisar fugas		✓	Cambiar resistencias eléctricas		NO ✓
Controlar el nivel de aceite hidráulico		✓	cambiar contactores eléctricos		NO ✓
cambiar filtro de aceite		✓	cambiar termocupla		NO ✓
Revisar fugas		✓	cambiar filtro de combustible		SI ✓
Realizar inspección de limpieza y funcionamiento de bomba		✓	Verificar el receptáculo		NO ✓
Verificar Termostato		✓	controlar el reglaje de válvulas		SI ✓
Verificar la válvula 4/3		✓	Inspeccionar cronómetro		SI ✓
Verificar conexiones hidráulicas		✓	Control general del tablero eléctrico		SI ✓
Verificar la bomba de agua		✓			
controlar nivel del agua		✓	 ITALSOLDER S.A.C. Fernando Tullini GERENTE		
controlar válvula solenoide		✓			
OBSERVACIONES					
<p>El Termostato se encuentra en mal estado, se solicita reemplazo.          - SE REGULO LA VALVULA 4/3, PVO YA TIENE DE FUNCIONAR.</p>					
		Técnico Mecánico - eléctrico		Jefe de Mantenimiento	
Nombre:		Cesar Espiritu		Fernando Berrocal.	
Firma:					

ANEXO 11. Cronogramas de actividades para la implementación del RCM

ACTIVIDADES		13-Ene	20-Ene	10-Feb	17-Feb	3-Mar	24-Mar	7-Abr	14-Abr	5-May	12-May	2-Jun	9-Jun	14-Jul	4-Ago	1-Set	6-Oct	3-Nov	1-Dic	11-Ene	15-Mar	11-May	13-Jul	16-Set	9-Dic	
		1	INICIO (Reunión General)	█																						
2	CAPACITACIÓN 1 (Equipo)		█	█	█	█																				
3	CAPACITACIÓN 2 (Jefe de mantenimiento)					█	█																			
4	CAPACITACIÓN 3 (Jefe de mantenimiento y técnico)					█	█	█																		
5	CAPACITACIÓN 4 (Técnico y auxiliar)						█	█	█																	
6	CAPACITACIÓN 3 (Jefe de mantenimiento)						█	█	█	█																
7	CAPACITACIÓN 4 (Técnico mecánico)							█	█	█	█															
8	FASE 0 (Codificación y listado de todos los subsistemas)										█	█	█	█												
9	FASE 1 (Estudio detallado del funcionamiento del equipo)											█	█	█	█											
10	FASE 2 (Determinación de los fallos funcionales)												█	█	█	█										
11	FASE 3 (Determinación de los modos de fallo)													█	█	█	█									
12	FASE 4 (Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo)														█	█	█	█								
13	FASE 5 (Determinación de medidas preventivas)															█	█	█	█							
14	FASE 6 (Elaboración del Plan de Mantenimiento)																█	█	█	█						
15	ELABORACIÓN DE FORMATOS																		█	█						
18	FASE 7 (Puesta en marcha)	PRIMER MANTENIMIENTO PREVENTIVO																		█						
19		SEGUNDO MANTENIMIENTO PREVENTIVO																				█				
20		TERCER MANTENIMIENTO PREVENTIVO																					█			
21		CUARTO MANTENIMIENTO PREVENTIVO																						█		
22		QUINTO MANTENIMIENTO PREVENTIVO																							█	
23		SEXTO MANTENIMIENTO PREVENTIVO																								█

SELLO V" B"

ITALSOLDER S.A.C.  
  
 Fernando Tutini  
 GERENTE